QUINTA EDICIÓN

Diseño y desarrollo de productos

KARL T. ULRICH · STEVEN D. EPPINGER



Diseño
y desarrollo
de productos

Diseño y desarrollo de productos

Quinta edición

Karl T. Ulrich
University of Pennsylvania

Steven D. Eppinger
Massachusetts Institute of Technology

Revisión técnica:

Abiud Flores Valentín
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey

Sergio Romero Hernández
Instituto Tecnológico Autónomo de México



MÉXICO • BOGOTÁ • BUENOS AIRES • CARACAS • GUATEMALA • MADRID • NUEVA YORK
SAN JUAN • SANTIAGO • SAO PAULO • AUCKLAND • LONDRES • MILÁN • MONTREAL
NUEVA DELHI • SAN FRANCISCO • SINGAPUR • ST. LOUIS • SIDNEY • TORONTO

Director general México: Miguel Ángel Toledo Castellanos
Editor sponsor: Pablo E. Roig Vázquez
Coordinadora editorial: Marcela I. Rocha Martínez
Editor de desarrollo: Edmundo Carlos Zúñiga Gutiérrez
Supervisor de producción: Zeferino García García

Traducción:
Jorge Humberto Romo Muñoz
Ricardo Martín Rubio Ruiz

DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS
Quinta edición



Prolongación Paseo de la Reforma 1015, Torre A
Piso 17, Colonia Desarrollo Santa Fe,
Delegación Álvaro Obregón
C.P. 01376, México, D.F.
Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, Reg. Núm. 736

ISBN: 978-607-15-0944-4
ISBN anterior: 978-970-10-6936-3

1234567890 2456789013

Impreso en México *Printed in Mexico*

Dedicado a los profesionistas que compartieron sus experiencias con nosotros y a los grupos de desarrollo de producto que esperamos se beneficien de esas experiencias.

Acerca de los autores

Karl T. Ulrich *Universidad de Pensilvania*

es profesor y vicedecano de la beca de la CIBC en innovación de la Escuela Wharton de la Universidad de Pensilvania, así como profesor de ingeniería mecánica. Recibió los grados de licenciatura en ciencias, máster en ciencias y doctor en ciencias en ingeniería mecánica del MIT. El profesor Ulrich ha dirigido los trabajos de desarrollo de numerosos productos, incluyendo aparatos médicos y artículos deportivos, y es fundador de varias empresas basadas en tecnología. Por su trabajo ha recibido más de 20 patentes. Su investigación actual está relacionada con la innovación tecnológica, diseño de productos y problemas ambientales.

Steven D. Eppinger *Instituto Tecnológico de Massachusetts*

es profesor del programa Ciencias de Administración e Innovación LGO, patrocinado por General Motors, en la Escuela Sloan de Administración del Instituto Tecnológico de Massachusetts, y también es profesor de sistemas de ingeniería en el MIT. Recibió sus grados de licenciatura en ciencias, máster en ciencias y doctor en ciencias en ingeniería mecánica del MIT; además, durante cinco años se desempeñó como decano adjunto de la Escuela Sloan del MIT. Se especializa en la administración de complejos procesos de desarrollo y ha trabajado extensamente en las industrias automotriz, electrónica, aeroespacial, de aparatos médicos y bienes de capital. Su investigación actual se enfoca en la creación de prácticas mejoradas para desarrollo de productos y técnicas de administración de proyectos.

Prefacio

Este libro contiene material elaborado para los cursos interdisciplinarios sobre desarrollo del producto que impartimos en clase. Entre los participantes en estos cursos se encuentran estudiantes ya egresados de ingeniería, estudiantes de diseño industrial y estudiantes de administración de empresas. Si bien destinamos este libro a audiencias interdisciplinarias a nivel básico, numerosos cursos intermedios y para estudiantes en diseño de ingeniería han encontrado útil el material. *Diseño y desarrollo de productos* también está dirigido a profesionistas que ya ejercen su carrera. De hecho, no podríamos evitar escribir para una audiencia de profesionistas porque casi todos nuestros estudiantes son profesionistas que han trabajado ya sea en el desarrollo de productos o en funciones estrechamente relacionadas con ello.

Este libro mezcla las perspectivas de marketing, diseño y manufactura en un solo planteamiento del desarrollo del producto. En consecuencia, damos a diversos tipos de estudiantes la posibilidad de apreciar las realidades de la práctica industrial y las complejas y esenciales funciones que desempeñan diversos miembros de equipos de desarrollo del producto. De manera particular, damos a los profesionales industriales un conjunto de métodos de desarrollo del producto, que pueden poner en práctica de inmediato en proyectos de desarrollo.

En la comunidad académica existe actualmente un debate relativo a si el diseño debe impartirse, primero, estableciendo una base de teoría o comprometiendo al estudiante en prácticas supervisadas de manera superficial. Para la actividad más general del diseño y desarrollo del producto, rechazamos ambos métodos cuando se llevan al extremo. La teoría sin práctica es ineficiente porque hay muchos matices, excepciones y sutilezas por aprender en situaciones prácticas y porque algunos trabajos simplemente carecen de bases firmes. Con demasiada facilidad, la práctica sin guía también ocasiona sentimientos de frustración y fracaso en la explotación del conocimiento que profesionistas e investigadores exitosos en el desarrollo del producto han acumulado durante mucho tiempo. En este sentido, el desarrollo del producto es como navegar: la experiencia se adquiere con práctica, pero un poco de teoría (y hasta triquiñuelas) de cómo funcionan las velas y de instrucción en la mecánica de operar un bote pueden ser de gran ayuda.

Tratamos de alcanzar un punto de equilibrio entre teoría y práctica mediante nuestro énfasis en métodos. Los métodos que presentamos son por lo general procedimientos que se dan paso a paso para completar trabajos, pero raras veces contienen teoría pura y concisa. En algunos casos, los métodos son apoyados en parte por una larga tradición de investigación y práctica, como en el capítulo referente a economía de desarrollo del producto; en otros casos, los métodos son un extracto de técnicas relativamente recientes y a propósito, como en el capítulo sobre diseño para el ambiente. En todos los casos, los métodos son un planteamiento concreto para resolver un problema de desarrollo del producto. De acuerdo con nuestra experiencia, el desarrollo del producto se aprende mejor si se aplican métodos estructurados en un trabajo de proyecto vigente, ya sea en situaciones industriales o académicas. Por lo tanto,

tratamos que este libro se use como guía para completar tareas de desarrollo, ya sea en el contexto de un proyecto en curso o en la práctica industrial.

Un ejemplo industrial o un estudio de caso ilustran cualquier método en este libro. Escogimos usar productos diferentes como ejemplos de cada capítulo en lugar de llevar el mismo ejemplo en todo el libro; presentamos esta variedad porque pensamos que el libro será más interesante y porque esperamos ilustrar que los métodos se pueden aplicar a una amplia variedad de productos, desde equipo industrial hasta productos de consumo.

Diseñamos el libro para hacerlo modular en toda la extensión de la palabra, formado por 18 capítulos independientes. Cada capítulo presenta un método de desarrollo para una parte específica del proceso de desarrollo del producto. El principal beneficio del método modular es que cada capítulo se puede usar de manera independiente del resto del libro. En esta forma, profesores, estudiantes y practicantes pueden tener fácil acceso sólo al material que encuentren más útil.

Esta quinta edición incorpora revisiones hechas a todo el libro, ejemplos y datos actualizados, explicaciones ampliadas y nuevas ideas provenientes de recientes investigaciones e innovaciones en la práctica.

Para complementar el texto, hemos desarrollado una página web en internet con intención de que sea un recurso para instructores, estudiantes y practicantes. Mantendremos actualizada esta página con más obras de referencias, ejemplos y vínculos a recursos existentes relacionados con temas de desarrollo del producto en cada capítulo. Por favor haga uso de esta información vía internet en www.ulrich-eppinger.net.

La aplicación de métodos estructurados al desarrollo del producto facilita el estudio y mejoramiento de los procesos de desarrollo. Esperamos que los lectores usen las ideas de este libro como semillas para la creación de sus propios métodos de desarrollo, adaptados de manera única a sus personalidades, talentos y entorno empresarial.

Agradecimientos

Cientos de personas colaboraron en mayor o menor medida en este libro. Agradecemos a numerosos industriales los datos, ejemplos e ideas que nos dieron. Apreciamos la ayuda que hemos recibido de gran cantidad de colegas, asistentes de investigación y personal de apoyo, de nuestros promotores y del grupo de McGraw-Hill. En verdad no hubiéramos terminado este proyecto sin la cooperación y colaboración de muchos profesionales, colegas y amigos. Gracias a todos.

El apoyo financiero para gran parte del desarrollo de este libro ha provenido de la Fundación Alfred P. Sloan, de los líderes del MIT para el Programa de Manufacturas, y del Center for Innovation in Product Development del MIT.

Muchos industriales ya establecidos nos ayudaron a recolectar datos y ejemplos de desarrollo. En particular nos gustaría agradecer a los siguientes: Richard Ahern, Liz Altman, Lindsay Anderson, Terri Anderson, Mario Belsanti, Mike Benjamin, Scott Beutler, Bill Burton, Michael Carter, Jim Caruso, Pat Casey, Scott Charon, Victor Cheung, Alan Cook, David Cutherell, Tim Davis, Tom Davis, John Elter, George Favaloro, Marc Filerman, David Fitzpatrick, Gregg Geiger, Anthony Giordano, David Gordon, Kamala Grasso, Matt Haggerty, Rick Harkey, Matthew Hern, Alan Huffenus, Art Janzen, Randy Jezowski, Carol Keller, Matt Kressy, Edward Kreuzer, David Lauzun, Peter Lawrence, Brian Lee, David Levy, Jonathan Li, Albert Lucchetti, Paul Martin, Doug Miller, Leo Montagna, Al Nagle, John Nicklaus, Hossain Nivi, Chris Norman, Paolo Pascarella, E. Timothy Pawl, Paul Piccolomini, Amy Potts, Earl Powell, Jason Ruble, Virginia Runkle, Nader Sabbaghian, Mark Schurman, Norm Seguin, David Shea, Wei-Ming Shen, Songa Song, Leon Soren, Paul Staelin, Michael Stephens, Scott Stropkay, Larry Sullivan, Malcom Taylor, Brian Vogel, David Webb, Bob Weisshappel, Dan Williams, Gabe Wing y Mark Winter.

Hemos recibido extraordinaria ayuda de nuestros colegas que nos han dado su apoyo para nuestro un tanto raro modo de enseñar e investigar, parte de lo cual se refleja en este libro. Estamos especialmente en deuda con Leaders for Manufacturing (LFM) del MIT y con el Center for Innovation in Product Development (CIPD) del MIT, dos sociedades ejemplares que abarcan las principales empresas manufactureras y a las escuelas de ingeniería y administración del MIT. También nos hemos visto beneficiados de la colaboración de profesores y personal asociado con estos programas, en especial Gabriel Bitran, Kent Bowen, Don Clausing, Tom Eagar, Charlie Fine, Woodie Flowers, Steve Graves, John Hauser, Rebecca Henderson, Maurice Holmes, Tom Magnanti, Kevin Otto, Don Rosenfield, Warren Seering, Shoji Shiba, Anna Thornton, Jim Utterback, Eric von Hippel, Dave Wallace y Dan Whitney. Hemos recibido apoyo financiero del LFM, CIPD y del Fondo Gordon Book. Lo que es más importante es que las empresas socias del LFM y el CIPD nos han dado acceso sin paralelo a proyectos industriales y problemas de investigación en el desarrollo y manufactura del producto.

Varios profesores nos han ayudado a revisar capítulos y darnos realimentación de sus pruebas en clases con este material. En particular agradecemos a estos revisores y “probadores

beta": Alice Agogino, Don Brown, Steve Brown, Charles Burnette, Gary Cadenhead, Roger Calantone, Cho Lik Chan, Kim Clark, Morris Cohen, Denny Davis, Michael Duffey, William Durfee, Donald Elger, Josh Eliashberg, David Ellison, Woodie Flowers, Gary Gabriele, Paulo Gomes, Abbie Griffin, Marc Harrison, Rebecca Henderson, Tim Hight, Mike Houston, Marco Iansiti, Kos Ishii, R. T. Johnson, Kyoung-Yun "Joseph" Kim, Annette Köhler, Viswanathan Krishnan, Yuyi Lin, Richard Locke, Bill Lovejoy, Jeff Meldman, Farrokh Mistree, Wanda Orlikowski, Louis Padulo, Matthew Parkinson, Robert Pelke, Warren Seering, Paul Sheng, Robert Smith, Carl Sorensen, Mark Steiner, Cassandra Telenko, Christian Terwiesch, Chuck Turtle, Marcie Tyre, Dan Whitney, Kristin Wood y Khim-Teck Yeo.

Varios industriales establecidos y expertos en capacitación también nos han ayudado en la revisión y comentarios sobre borradores de capítulos: Wesley Allen, Geoffrey Boothroyd, Gary Burchill, Clay Burns, Eugene Cafarelli, James Carter, Kimi Ceridon, David Cutherell, Gerard Furbershaw, Jack Harkins, Gerhard Jünemann, David Meeker, Ulrike Närger, B. Joseph Pine II, William Townsend, Brian Vogel y John Wesner.

También deseamos agradecer a más de 1 000 estudiantes de las clases en donde hemos probado estos materiales en diversos programas de enseñanza en el MIT, Helsinki University of Technology, Rhode Island School of Design, HEC Paris, STOA (Italia), University of Pennsylvania y Nanyang Technological University (Singapur). Muchos estudiantes nos han dado constructivos comentarios para mejorar la estructura y entrega del material finalmente contenido aquí. Del mismo modo, nuestras experiencias al observar el uso que los estudiantes hacen de estos métodos en proyectos de desarrollo del producto nos han ayudado a refinar el material.

Varios estudiantes del MIT colaboraron como asistentes de investigación para ayudar a investigar muchos de los métodos de desarrollo, ejemplos y datos contenidos en la primera edición de este libro. Estas personas son Michael Baeriswyl (capítulo 12), Paul Brody (capítulo 11), Tom Foody (capítulo 17), Amy Greenlief (capítulo 14), Christopher Hession (capítulo 4), Eric Howlett (capítulo 8), Tom Pimmler (capítulo 13 y apéndices), Stephen Raab (capítulo 18), Harrison Roberts (capítulo 13 y apéndices), Jonathan Sterrett (capítulo 5) y Gavin Zau (capítulo 7).

Otros estudiantes del MIT han colaborado asistiendo con la recolección de datos y ofreciendo comentarios y críticas estimulantes relacionadas con algunos de los capítulos: Tom Abell, E. Yung Cha, Steve Daleiden, Russell Epstein, Matthew Fein, Brad Forry, Mike Frauens, Ben Goss, Daniel Hommes, Bill Liteplo, Habs Moy, Robert Northrop, Leslie Prince Rudolph, Vikas Sharma y Ranjini Srikantiah. Agradecemos también la amable asistencia del equipo del MIT durante varios años: Stephen Arnold, Yubbetys Baez, Cara Barber, Anna Piccolo, Kristin Rocheleau y Kathy Sullivan.

El personal de la organización de McGraw-Hill ha sido extraordinario. Estamos particularmente agradecidos por el apoyo a nuestra editora promotora Laura Hurst Spell. También apreciamos el trabajo del editor de desarrollo Robin Bonner, al gerente de proyecto Erin Melloy, al corrector de estilo Rich Wright, al fotógrafo Stuart Cohen y a la diseñadora Margarite Reynolds.

Por último, damos gracias a nuestras familias por su amor y apoyo. Nuestros padres nos dieron gran estímulo. Nancy, Julie, Lauren, Andrew, Jamie y Nathan han mostrado infinita paciencia en estos años de este actual proyecto de desarrollo del producto.

Karl T. Ulrich
Steven D. Eppinger

Sumario

Contenido

Capítulo 11
Diseño industrial 207

Capítulo 12
Diseño para el ambiente 229

Capítulo 15
Diseño robusto 303

Capítulo 16
Patentes y propiedad intelectual 323

Capítulo 17
Economía de desarrollo del producto 345

CAPÍTULO UNO

Introducción



En el sentido de las agujas de un reloj, desde arriba a la izquierda: foto por Stuart Cohen; Copyright 2002 Hewlett-Packard Company. Reproducido con permiso; cortesía de Boeing; cortesía de Volkswagen of America; cortesía de Rollerblade, Inc.

FIGURA 1-1 Ejemplos de productos físicos ingenieriles y discretos (en el sentido de las agujas de un reloj desde la parte superior izquierda): destornillador Stanley Tools Jobmaster, impresora DeskJet Hewlett-Packard, avión Boeing 777, nuevo Beetle Volkswagen y patín en línea Rollerblade.

El éxito económico de casi todas las empresas depende de su capacidad para identificar las necesidades de los clientes y rápidamente crear productos que satisfagan esas necesidades y se puedan producir a bajo costo. Alcanzar estas metas no es sólo un problema de mercadotecnia, ni tampoco un problema de diseño o un problema de manufactura; es un problema de desarrollo de producto que comprende todas estas funciones. Este libro contiene un conjunto de métodos que tienen la finalidad de mejorar la capacidad de equipos interfuncionales para trabajar juntos en el desarrollo de productos.

Un *producto* es algo vendido por una empresa a sus clientes. *Desarrollo de producto* es el conjunto de actividades que se inicia con la percepción de una oportunidad de mercado y termina en la producción, venta y entrega de un producto. Aun cuando buena parte del material de este libro es útil en el desarrollo de cualquier producto, explícitamente nos concentramos en productos físicos, discretos e ingenieriles. La figura 1-1 presenta varios ejemplos de productos de esta categoría. Debido a que nos concentramos en productos ingenieriles, el libro se aplica mejor al desarrollo de herramientas eléctricas y equipos periféricos de computadora que a revistas o a suéteres. Nuestro enfoque en artículos discretos hace que el libro sea menos aplicable al desarrollo de productos como gasolina, fibras sintéticas y papel. Por nuestro enfoque en productos físicos, no hacemos énfasis en problemas específicos que aparecen en el desarrollo de servicios o de software. Incluso con estas restricciones, los métodos presentados se aplican bien a una amplia variedad de productos, incluyendo, por ejemplo, aparatos electrónicos para el consumidor, equipo deportivo, instrumentos científicos, máquinas herramienta y dispositivos médicos.

El objetivo de este libro es presentar en una forma clara y detallada un conjunto de métodos de desarrollo de productos destinados a unir las funciones de mercadotecnia, diseño y manufactura de la empresa. En este capítulo de introducción describimos algunos aspectos de la práctica industrial del desarrollo de productos e incluimos un mapa del libro.

Características del desarrollo exitoso de un producto

Desde la perspectiva de los inversionistas en una empresa con fines de lucro, el desarrollo exitoso de un producto resulta en productos que se pueden producir y vender con rentabilidad, aun cuando ésta es a veces difícil de evaluar con rapidez y en forma directa. Se pueden mencionar cinco dimensiones más específicas, relacionadas definitivamente con la utilidad, que se usan para evaluar el rendimiento de un trabajo de desarrollo de producto:

- ***Calidad de producto:*** ¿Qué tan bueno es el producto que resulta del trabajo de desarrollo? ¿Satisface las necesidades del cliente? ¿Es robusto y confiable? La calidad del producto se refleja finalmente en la cuota del mercado y el precio que los clientes están dispuestos a pagar.
- ***Costo de producto:*** ¿Cuál es el costo de manufactura del producto? Este costo incluye gasto en bienes de capital y herramentales, así como en el costo incremental de producir cada unidad del producto. El costo del producto determina cuánta utilidad corresponde a la empresa por un volumen y un precio particulares de venta.
- ***Tiempo de desarrollo:*** ¿Con qué rapidez completó el equipo el trabajo de desarrollo del producto? El tiempo de desarrollo determina el tiempo de respuesta de la empresa a la competencia y a desarrollos tecnológicos, así como la rapidez con que la empresa recibe los rendimientos económicos del trabajo del equipo.

- ***Costo de desarrollo:*** ¿Cuánto tuvo que gastar la empresa en desarrollar el producto? El costo de desarrollo suele ser una parte importante de la inversión necesaria para alcanzar utilidades.
- ***Capacidad de desarrollo:*** ¿El equipo y la empresa son mejores para desarrollar productos en el futuro como resultado de su experiencia con un proyecto de desarrollo de productos? La capacidad de desarrollo es una ventaja competitiva que la empresa puede usar para desarrollar productos con más eficiencia y mejor economía en el futuro.

Un alto rendimiento en estas cinco dimensiones debe finalmente llevar al éxito económico; no obstante, otros criterios de rendimiento son también importantes. Estos criterios surgen de intereses de otros involucrados en la empresa, incluyendo los miembros del equipo de desarrollo, otros empleados y la comunidad en la que el producto se manufactura. Los miembros del equipo de desarrollo pueden estar interesados en crear un producto que por su naturaleza pueda despertar entusiasmo. Los miembros de la comunidad en la que el producto se manufactura pueden estar preocupados por el grado al cual el producto genera empleos. Los trabajadores de producción y los usuarios del producto afirman que el equipo de desarrollo es responsable de los altos estándares de seguridad, ya sea que éstos puedan o no justificarse en la base estricta de la rentabilidad. Otras personas, que quizá no tengan conexión directa con la empresa o el producto, pueden pedir que el producto tenga un uso ambientalmente sano de los recursos y produzca una mínima cantidad de desechos peligrosos.

¿Quién diseña y desarrolla productos?

El desarrollo de productos es una actividad interdisciplinaria que requiere de la colaboración de casi todas las funciones de una empresa; no obstante, tres funciones son casi siempre esenciales a un proyecto de desarrollo de productos:

- ***Mercadotecnia:*** La función de mercadotecnia sirve de intermediaria entre la empresa y sus clientes. Es frecuente que mercadotecnia facilite la identificación de oportunidades de productos, la definición de segmentos del mercado y la identificación de las necesidades de los clientes. Por lo general, mercadotecnia también se encarga de la comunicación entre la empresa y sus clientes, establece precios objetivo y supervisa el lanzamiento y promoción del producto.
- ***Diseño:*** La función de diseño desempeña el papel principal en definir la forma física del producto para que satisfaga mejor las necesidades del cliente. En este contexto, la función de diseño incluye crear el diseño de ingeniería (mecánico, eléctrico, software, etc.) y el diseño industrial (estético, ergonómico, interfases de usuarios).
- ***Manufactura:*** La función de manufactura es principalmente responsable del diseño, operación y/o coordinación del sistema de producción del producto. En términos generales, la función de manufactura también incluye la compra, distribución e instalación. Este conjunto de actividades a veces recibe el nombre de *cadena de suministro.*

Diferentes personas dentro de estas funciones reciben con frecuencia una capacitación específica en aspectos como investigación de mercados, ingeniería mecánica, ingeniería eléctrica, ciencia de materiales u operaciones de manufactura. Otras funciones diversas, incluyendo finanzas y ventas, también participan frecuentemente a tiempo parcial en el desarrollo de un nuevo producto. Fuera de estas categorías funcionales generales, la composición

específica de un equipo de desarrollo depende de las características particulares del producto.

Pocos productos son desarrollados por una sola persona. El conjunto de quienes desarrollan un producto forma el *equipo de proyecto*. Este equipo por lo general tiene un solo líder, que puede salir de cualquiera de las funciones de la empresa. El equipo puede consistir en un *equipo principal* y un *equipo ampliado*. Para trabajar de manera conjunta y efectiva, el equipo principal suele ser lo suficientemente pequeño como para reunirse en una sala de conferencias, mientras que el equipo ampliado puede estar formado por docenas, cientos o hasta miles de otras personas. (Aun cuando el término *equipo* es inapropiado para un grupo de miles, la palabra se usa con frecuencia en este contexto para enfatizar que el grupo debe trabajar hacia una meta común.) Usualmente, un equipo dentro de la compañía estará apoyado por personas o equipos de compañías socias, proveedoras y empresas de consultoría. A veces, como en el caso del desarrollo de un nuevo avión, el número de integrantes del equipo externo puede ser incluso mayor que el del equipo dentro de la compañía cuyo nombre aparecerá en el producto final. La composición de un equipo para el desarrollo de un producto electromecánico de modesta complejidad se muestra en la figura 1-2.

En todo el libro suponemos que el equipo está situado dentro de una empresa. De hecho, una empresa manufacturera con fines de lucro es la situación institucional más común para el desarrollo de productos, aunque otras situaciones son posibles. Los equipos de desarrollo de productos a veces trabajan con empresas de consultoría, universidades, dependencias gubernamentales y organizaciones no lucrativas.

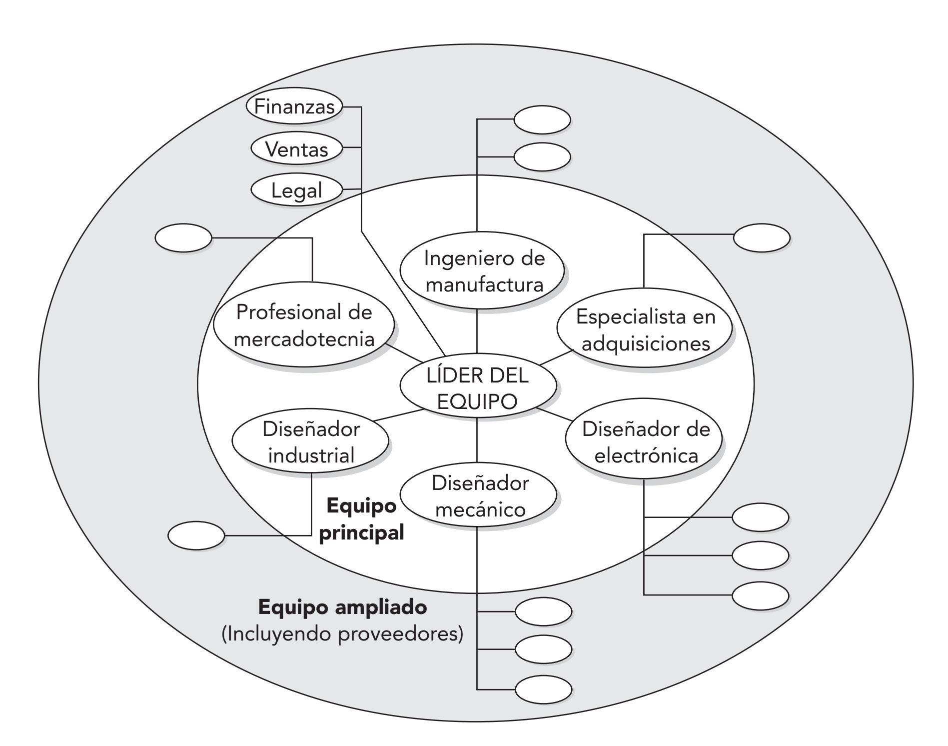


FIGURA 1-2 Composición de un equipo de desarrollo de productos para un producto electromecánico de complejidad modesta.

Duración y costo de desarrollo del producto

La mayoría de las personas sin experiencia en el desarrollo de un producto se asombran del tiempo y dinero necesarios para desarrollar uno nuevo. La realidad es que muy pocos productos pueden ser desarrollados en menos de un año, muchos requieren de tres a cinco años y algunos llevan hasta 10 años. La figura 1-1 muestra cinco productos ingenieriles y discretos. La figura 1-3 es una tabla que ilustra la escala aproximada del trabajo necesario para el desarrollo de productos, junto con algunas características distintivas de los productos.

El costo del desarrollo de productos es aproximadamente proporcional al número de personas del equipo de proyecto y la duración del proyecto. Además de gastos para el trabajo de desarrollo, una empresa casi siempre tendrá que hacer alguna inversión en la dotación de herramentales y equipos necesarios para la producción. Este gasto es con frecuencia tan grande como el resto del presupuesto de desarrollo del producto; no obstante, a veces es útil ver estos gastos como parte de los *costos fijos* de producción. Para fines de referencia, esta inversión de producción se presenta en la figura 1-3 junto con los costos de desarrollo.

	Destornillador Jobmaster de Stanley Tools	**Patín en línea Rollerblade**	**Impresora DeskJet de Hewlett-Packard**	**Automóvil Nuevo Beetle de Volkswagen**	**Avión Boeing 777**
Volumen de producción anual	100 000 unidades/año	100 000 unidades/año	4 millones de unidades/año	100 000 unidades/año	50 unidades/año
Vida útil de venta	40 años	3 años	2 años	6 años	30 años
Precio de venta (dólares estadounidenses)	$5	$150	$130	$20 000	$260 millones
Número de piezas únicas (número de piezas)	3 piezas	35 piezas	200 piezas	10 000 piezas	130 000 piezas
Tiempo de desarrollo	1 año	2 años	1.5 años	3.5 años	4.5 años
Equipo interno de desarrollo (tamaño máximo)	3 personas	5 personas	100 personas	800 personas	6 800 personas
Equipo externo de desarrollo (tamaño máximo)	3 personas	10 personas	75 personas	800 personas	10 000 personas
Costo de desarrollo (dólares estadounidenses)	$150 000	$750 000	$50 millones	$400 millones	$3 000 millones
Inversión para producción (dólares estadounidenses)	$150 000	$1 millón	$25 millones	$500 millones	$3 000 millones

FIGURA 1-3 Atributos de cinco productos y sus trabajos de desarrollo asociados. Todas las cifras son aproximadas, con base en información accesible al público y fuentes de la compañía.

Los retos del desarrollo del producto

El desarrollo de productos exitosos es difícil. Pocas empresas son exitosas en más de la mitad de las ocasiones. Estas estadísticas presentan un desafío importante para un equipo de desarrollo de productos. Algunas de las características que hacen difícil el desarrollo de productos son:

- ***Concesiones de diseño:*** Un avión puede construirse más ligero, pero es probable que esto aumente el costo de manufactura. Uno de los aspectos más difíciles del desarrollo de productos es reconocer, entender y manejar estas concesiones de diseño en una forma que maximice el éxito del producto.
- ***Dinámica:*** Las tecnologías mejoran, las preferencias del cliente evolucionan, los competidores introducen nuevos productos y cambia el entorno macroeconómico. La toma de decisiones en un ambiente de constante cambio es una tarea formidable.
- ***Detalles:*** La elección entre usar tornillos o abrazaderas en el gabinete de una computadora tiene implicaciones económicas que ascienden a millones de dólares. Desarrollar un producto de una complejidad incluso modesta requiere de miles de decisiones de este tipo.
- ***Presión de tiempo:*** Cualquiera de estas dificultades sería fácilmente manejable por sí sola si hubiera tiempo suficiente, pero las decisiones en el desarrollo de productos por lo general deben tomarse rápidamente y sin información completa.
- ***Economía:*** Desarrollar, producir y comercializar un nuevo producto requiere una fuerte inversión. Para obtener una utilidad razonable en esta inversión, el producto resultante debe ser atractivo a clientes y de un costo relativamente bajo para producirlo.

Para muchas personas, el desarrollo de productos es interesante precisamente porque es difícil. Para otras, varios atributos intrínsecos también contribuyen a su atractivo:

- ***Creación:*** El proceso de desarrollo de productos empieza con una idea y termina con la producción de un objeto físico. Cuando se ve en su conjunto y a un nivel de actividades individuales, el proceso de desarrollo de productos es intensamente creativo.
- ***Satisfacción de necesidades sociales e individuales:*** Todos los productos están destinados a satisfacer necesidades de alguna clase. Las personas interesadas en desarrollar nuevos productos casi siempre encuentran entornos sociales en los que pueden desarrollar productos que satisfagan lo que consideran necesidades importantes.
- ***Diversidad del equipo:*** Un desarrollo exitoso requiere muchos conocimientos y talentos diferentes. En consecuencia, los equipos de desarrollo incluyen personas con una amplia variedad de capacidades, experiencia, puntos de vista y personalidades.
- ***Espíritu de equipo:*** Es frecuente que los equipos de desarrollo de productos sean grupos altamente motivados y cooperativos. Los miembros del equipo pueden asignarse de forma que concentren su energía colectiva en crear el producto. Esta situación puede resultar en una duradera camaradería entre los miembros del equipo.

Enfoque de este libro

Nos concentramos en actividades de desarrollo de producto que se benefician de la participación de todas las funciones centrales de la empresa. Para nuestros fines definimos las funciones centrales como mercadotecnia, diseño y manufactura. Esperamos que los miembros del equipo tengan competencia en una o más disciplinas específicas tales como ingeniería mecánica, inge-

niería eléctrica, diseño industrial, investigación de mercados u operaciones de manufactura. Por esta razón, no discutimos, por ejemplo, cómo realizar un análisis de esfuerzo o crear una encuesta conjunta. Éstas son habilidades específicas que esperamos tenga alguien del equipo de desarrollo. Los métodos integrales en este libro están destinados a facilitar la solución de problemas y tomar decisiones entre personas con diferentes puntos de vista disciplinarios.

Métodos estructurados

El libro contiene métodos para completar actividades de desarrollo. Los métodos están estructurados, lo cual significa que generalmente damos un método a seguir paso a paso y con frecuencia contiene plantillas para los sistemas de información clave empleadas por el equipo. Pensamos que los métodos estructurados son valiosos por tres razones: primera, hacen explícito el proceso de toma de decisiones, permitiendo que todos en el equipo entiendan las razones fundamentales de la decisión y así reducir la posibilidad de avanzar sin decisiones no fundamentadas. Segunda, al actuar como *checklists* (listas de verificación) de los pasos clave en una actividad de desarrollo, aseguran que no se olviden los aspectos importantes. Tercera, los métodos estructurados son sumamente autodocumentados, es decir, en el proceso de ejecutar el método, el equipo crea un registro del proceso de toma de decisiones para consulta en el futuro y para capacitar a los recién llegados.

Aun cuando los métodos son estructurados, no están destinados a ser aplicados ciegamente. Los métodos son un punto de partida para mejora continua. Los equipos deben adaptar y modificar los métodos para satisfacer sus propias necesidades y reflejar el carácter único de su ambiente institucional.

Ejemplos industriales

Cada uno de los capítulos está estructurado en torno a un ejemplo tomado de la práctica industrial. Los principales ejemplos incluyen lo siguiente: un sistema de seguridad inalámbrico, un juguete láser para gatos, una copiadora digital, un destornillador eléctrico recargable, una horquilla de suspensión para bicicleta de montaña, una pistola de clavos eléctrica, una jeringa medidora de dosis, un patín eléctrico, una impresora para computadora, un teléfono celular, productos de oficina, un motor de automóvil, un robot móvil para ambientes peligrosos, un sistema de cinturón de seguridad, un aislador de taza de café, una impresora digital de fotografías y un cartucho para microfilm. En la mayor parte de los casos usamos como ejemplos los productos más sencillos a los que tenemos acceso para ilustrar los aspectos importantes de los métodos. Cuando un destornillador ilustra una idea tan bien como una turbina a reacción de avión, usamos el destornillador. No obstante, cada método de este libro ha sido empleado con éxito en la práctica industrial por cientos de personas en proyectos grandes y pequeños.

Aun cuando están construidos alrededor de ejemplos, los capítulos no tienen la intención de ser casos prácticos históricamente precisos. Usamos los ejemplos como una forma de ilustrar métodos de desarrollo y, al hacerlo, volvemos a modelar algunos detalles históricos en una forma que mejora la presentación del material. También disimulamos una buena parte de la información cuantitativa de los ejemplos, en especial la de datos financieros.

Realidades organizacionales

En forma deliberada escogimos presentar los métodos con la suposición de que el equipo de desarrollo opera en un ambiente organizacional que conduzca al éxito. En realidad, algunas organizaciones muestran características que provocan que los equipos para desarrollo de productos se vuelvan disfuncionales. Estas características son:

- ***Carencia de empoderamiento del equipo:*** Gerentes generales o gerentes funcionales pueden participar en la intervención continua de los detalles de un proyecto de desarrollo, aun sin entender a fondo las bases de las decisiones del equipo.
- ***Lealtades funcionales que trascienden las metas del proyecto:*** Representantes de mercadotecnia, diseño o manufactura pueden influir en decisiones para aumentar la posición política de sí mismos o de sus funciones, indiferentes al éxito general del producto.
- ***Recursos inadecuados:*** Un equipo puede ser incapaz de completar con efectividad trabajos de desarrollo por falta de personal, por haber desequilibrio en experiencia, o por falta de dinero, de equipo o de herramientas.
- ***Falta de representación interfuncional en el equipo de proyecto:*** Las decisiones clave del desarrollo pueden tomarse sin involucrar las funciones de mercadotecnia, diseño, manufactura u otras funciones críticas.

Si bien casi todas las organizaciones presentan una o más de estas características en algún grado, la presencia significativa de estos problemas puede ser tan sofocante que los buenos métodos de desarrollo resultan ineficientes. Al reconocer la importancia de problemas básicos organizacionales y suponemos, para mayor claridad en nuestra exposición, que el equipo de desarrollo opera en un ambiente en el que casi todas las barreras organizacionales restrictivas se han eliminado.

Mapa del libro

Dividimos el proceso de desarrollo de productos en seis fases, como se ilustra en la figura 1-4. (Estas fases se describen con mayor detalle en el capítulo 2, Procesos y organizaciones de desarrollo.) Este libro describe la fase de desarrollo de un concepto en su totalidad y, en forma menos completa, las fases restantes, ya que no damos métodos para las actividades de desarrollo más enfocadas que se presentan en etapas avanzadas del proceso. Cada uno de los capítulos restantes de este libro se puede leer, entender y aplicar de manera independiente.

- Capítulo 2, Procesos y organizaciones de desarrollo, presenta un proceso genérico de desarrollo del producto y muestra la forma en que algunas variantes de este proceso se emplean en situaciones industriales diferentes. El capítulo también analiza la forma en que las personas se organizan en grupos para encargarse de proyectos de desarrollo de productos.
- Capítulo 3, Identificación de oportunidades, describe un proceso para crear, identificar y detectar ideas para nuevos productos.
- Capítulo 4, Planeación del producto, presenta un método para decidir qué productos desarrollar. El resultado de este método es la declaración de la misión para un proyecto particular.
- Capítulos 5 a 9, Identificación de las necesidades del cliente, Especificaciones del producto, Generación de concepto, Selección del concepto y Prueba de concepto, presentan las actividades clave de la fase de desarrollo de un concepto. Estos métodos guían a un equipo de una declaración de la misión hasta un concepto seleccionado de producto.
- Capítulo 10, Arquitectura del producto, analiza las implicaciones de arquitectura del producto en relación al cambio del producto mismo, variedad de producto, estandarización de componentes, operación de un producto, costo de manufactura y administración de un proyecto; posteriormente presenta un método para establecer la arquitectura de un producto.

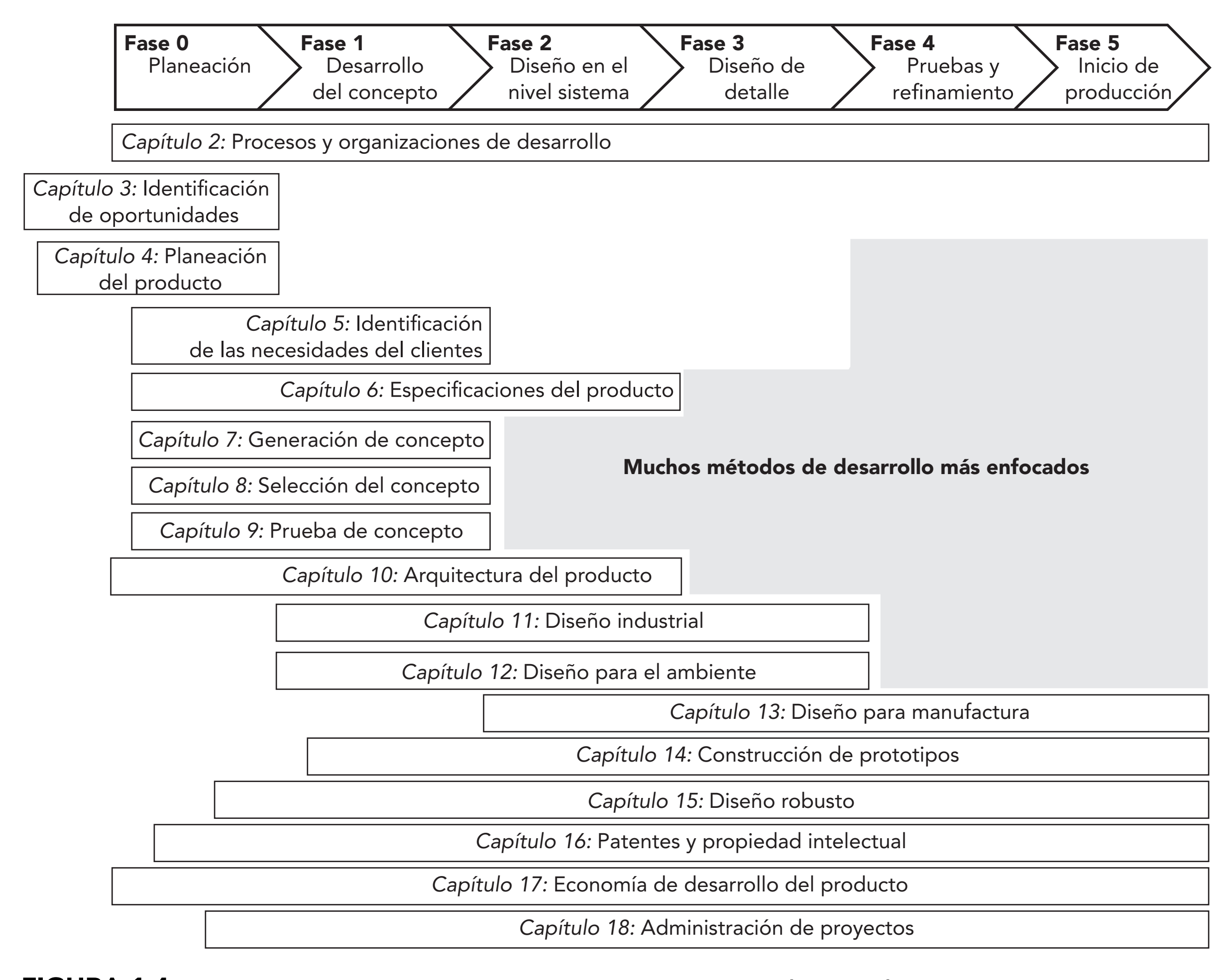


FIGURA 1-4 Proceso de desarrollo del producto. El diagrama muestra en dónde es más aplicable cada uno de los métodos integradores presentados en los capítulos restantes.

- Capítulo 11, Diseño industrial, analiza el papel del diseñador industrial y la forma en que los problemas de interacción humana, incluyendo estética y ergonomía, son tratados en el desarrollo del producto.
- Capítulo 12, Diseño para el ambiente, considera los impactos ambientales asociados a productos y presenta un método para reducirlos mediante mejores decisiones de diseño.
- Capítulo 13, Diseño para manufactura, discute técnicas empleadas para reducir costos de manufactura. Estas técnicas se aplican principalmente durante las fases a nivel de sistema y diseño de detalles del proceso.
- Capítulo 14, Construcción de prototipos, presenta un método para asegurar que el trabajo de construcción de prototipos, que se presenta en todo el proceso, sea aplicado de manera efectiva.
- Capítulo 15, Diseño robusto, explica métodos para seleccionar valores de variables de diseño para asegurar una operación confiable y consistente.

- Capítulo 16, Patentes y propiedad intelectual, presenta un método para crear una solicitud de patente y analizar el papel de la propiedad intelectual en el desarrollo del producto. (Nota: aunque este capítulo se enfoca en la legislación estadounidense, los principios básicos son aplicables en forma global.)
- Capítulo 17, Economía de desarrollo del producto, describe un método para entender la influencia de factores internos y externos en el valor económico de un proyecto.
- Capítulo 18, Administración de proyectos, presenta algunos conceptos fundamentales para entender y representar las tareas que interactúan en un proyecto, junto con un método para planear y ejecutar un proyecto de desarrollo.

Referencias y bibliografía

Una amplia variedad de recursos para este capítulo, así como para el resto del libro, se encuentran en Internet. Estos recursos incluyen datos, plantillas, vínculos con proveedores y listas de publicaciones. A los recursos actuales se puede acceder a través de **www.ulrich-eppinger.net**

Wheelwright y Clark dedican mucho de su libro a las primeras etapas de desarrollo de un producto, que tratamos con menor detalle.

Wheelwright, Stephen C., y Kim B. Clark, *Revolutionizing Product Development: Quantum Leaps in Speed, Efficiency, and Quality*, The Free Press, Nueva York, 1992.

Katzenbach y Smith escriben acerca de equipos en general, pero casi todas sus ideas se aplican también a equipos de desarrollo de productos.

Katzenbach, Jon R., y Douglas K. Smith, *The Wisdom of Teams: Creating the High-Performance Organization*, Harvard Business School Press, Boston, 1993.

Los siguientes tres libros ofrecen excelentes narrativas de proyectos de desarrollo, incluyendo fascinantes descripciones de los entrelazados procesos sociales y técnicos.

Kidder, Tracy, *The Soul of a New Machine*, Avon Books, Nueva York, 1981.

Sabbagh, Karl, *Twenty-First-Century Jet: The Making and Marketing of the Boeing 777*, Scribner, Nueva York, 1996.

Walton, Mary, *Car: A Drama of the American Workplace*, Norton, Nueva York, 1997.

Ejercicios

1. Estime qué fracción del precio de una calculadora de bolsillo se requiere para cubrir el costo de desarrollar el producto. Para hacer esto, el lector podría empezar por estimar la información necesaria para llenar los datos de la figura 1-3 para la calculadora de bolsillo.
2. Genere un conjunto de gráficas utilizando la información de cada uno de los renglones o filas de la figura 1-3 contra la fila de costo de desarrollo. Para cada uno, explique por qué existe o no alguna correlación. (Por ejemplo, primero graficaría “volumen de producción anual” contra “costo de desarrollo” y explicaría por qué no parece haber correlación. Luego repita para cada una de las filas restantes.)

Pregunta de análisis

1. Cada uno de los capítulos citados en la figura 1-4 presenta una parte del proceso de desarrollo de productos. Para cada uno, considere qué tipos de conocimientos y experiencia podrían requerirse. ¿Puede hacer un argumento para dotar de personal al equipo de desarrollo, de principio a fin, con individuos que posean todos estos conocimientos y campos de experiencia?

CAPÍTULO DOS

Procesos y organizaciones de desarrollo



Cortesía de Tyco International

FIGURA 2-1 Panel de control de un sistema inalámbrico de alarma de seguridad, producto de Tyco.

Tyco International es uno de los principales fabricantes de sensores y controles, entre ellos los sistemas de seguridad domésticos e industriales. Uno de los productos de Tyco es el panel de control de un sistema inalámbrico de alarma de seguridad, que muestra la figura 2-1. Los administradores de Tyco deseaban establecer una estructura común en el proceso de desarrollo de producto, que fuese adecuado para cada una de las múltiples divisiones operativas de la empresa. También necesitaban crear una organización de desarrollo de producto que permitiese a Tyco competir con eficacia en diversos mercados de negocios competitivos. Algunas interrogantes que enfrentó Tyco fueron las siguientes:

- ¿Cuáles son las principales actividades de desarrollo de producto que deben incluirse en todos los proyectos?
- ¿Qué puntos de referencia de avance y vías de revisión sirven para controlar el proceso de desarrollo por fases?
- ¿Existe algún proceso de desarrollo estándar que funcione en todas las divisiones operativas?
- ¿Cuál es la misión de los expertos de las diversas áreas funcionales en el proceso de desarrollo?
- ¿Debe dividirse a la organización de desarrollo en grupos correspondientes a proyectos o a funciones técnicas y comerciales?

Este capítulo ayuda a responder éstas y otras preguntas asociadas al presentar un proceso genérico de desarrollo y mostrar la forma en que este proceso se puede adaptar para satisfacer las necesidades de situaciones industriales particulares. Destacamos las actividades y aportaciones de diferentes funciones de la compañía durante cada fase del proceso de desarrollo. El capítulo también explica qué es lo que constituye una organización de desarrollo del producto y analiza por qué diferentes tipos de organizaciones son apropiados para distintas situaciones.

Un proceso genérico de desarrollo

Un proceso es una secuencia de pasos que transforma un conjunto de entradas en un conjunto de salidas. La mayoría de las personas están familiarizadas con la idea de procesos físicos, por ejemplo los que se usan para hornear un pastel o ensamblar un automóvil. Un *proceso de desarrollo del producto* es la secuencia de pasos o actividades que una empresa utiliza para concebir, diseñar y comercializar un producto. Muchos de estos pasos y actividades son intelectuales y organizacionales más que físicos. Algunas organizaciones definen y siguen un proceso de desarrollo preciso y detallado, mientras que otras ni siquiera son capaces de describir sus procesos. Además, toda organización emplea un proceso al menos ligeramente distinto del que tienen las demás. De hecho, la misma empresa puede seguir diferentes procesos para cada uno de varios tipos diferentes de proyectos de desarrollo.

Un proceso bien definido de desarrollo es útil por las siguientes razones:

- ***Aseguramiento de la calidad:*** Un proceso de desarrollo especifica las fases por las que pasará un proyecto de desarrollo y los puntos de inspección en el proceso. Cuando estas fases y puntos de inspección se escogen con sabiduría, seguir el proceso de desarrollo es una forma de garantizar la calidad del producto resultante.
- ***Coordinación:*** Un proceso de desarrollo claramente articulado actúa como plan maestro que define los papeles de cada uno de los participantes en el equipo de desarrollo. Este plan

informa a los miembros del equipo cuándo será necesaria su colaboración y con quién deberán intercambiar información y materiales.

- ***Planeación:*** Un proceso de desarrollo contiene hitos naturales que corresponden a la terminación de cada fase. La programación de los tiempos de estas etapas fija el programa del proyecto general de desarrollo.
- ***Administración:*** Un proceso de desarrollo es un estándar de referencia para evaluar la operación de un trabajo vigente de desarrollo. Al comparar los eventos reales contra el proceso establecido, un gerente puede identificar posibles áreas problemáticas.
- ***Mejoría:*** La documentación cuidadosa del proceso de desarrollo de una organización ayuda a identificar oportunidades para mejorar.

El proceso genérico de desarrollo del producto consta de seis fases, como se ilustra en la figura 2-2. El proceso se inicia con una fase de planeación, que es el vínculo con actividades avanzadas de desarrollo en investigación y tecnología. La salida de la fase de planeación es la declaración de la misión del proyecto, que es la entrada requerida para empezar la fase de investigación del concepto y que sirve como guía para el equipo de desarrollo. La conclusión del proceso de desarrollo del producto es el lanzamiento del producto en sí, en cuyo momento éste queda disponible en el mercado para su adquisición.

Una forma de considerar el proceso de desarrollo es como la creación inicial de un amplio conjunto de conceptos alternativos de producto, y luego la subsecuente reducción de alternativas y creciente especificación del producto, hasta que éste pueda ser elaborado en forma confiable y repetida por el sistema de producción. Nótese que casi todas las fases de desarrollo están definidas en términos del estado del producto, aun cuando el proceso de producción y planes de mercadotecnia, entre otras salidas tangibles, también evolucionan a medida que avanza el desarrollo.

Otra forma de considerar el proceso de desarrollo es como un sistema de procesamiento de información. El proceso se inicia con entradas como son, por ejemplo, los objetivos corporativos y la capacidad de tecnologías disponibles, plataformas de producto y sistemas de producción. Diversas actividades procesan la información de desarrollo, formulando especificaciones, conceptos y detalles de diseño. El proceso concluye cuando toda la información requerida para apoyar la producción y ventas se haya creado y comunicado.

Una tercera forma de ver el proceso de desarrollo es como un sistema de administración de riesgos. En las primeras etapas del desarrollo del producto, varios riesgos se identifican y se les da prioridad. A medida que avanza el proceso, los riesgos se reducen cuando las incertidumbres se eliminan y las funciones del producto son validadas. Cuando el proceso se completa, el equipo debe tener confianza suficiente en que el producto funcionará correctamente y será bien recibido por el mercado.

La figura 2-2 también identifica las actividades y responsabilidades clave de las diferentes funciones de la organización durante cada una de las fases de desarrollo. Por su continua participación en el proceso, seleccionamos articular las funciones de la mercadotecnia, diseño y manufactura. Los representantes de otras funciones, por ejemplo de investigación, finanzas, servicios de apoyo y ventas, también tienen aplicaciones clave en puntos particulares del proceso.

Las seis fases del proceso genérico de desarrollo son:

0. ***Planeación:*** La actividad de planeación se conoce a veces como "fase cero" porque precede a la aprobación del proyecto y lanzamiento del proceso real de desarrollo del pro-

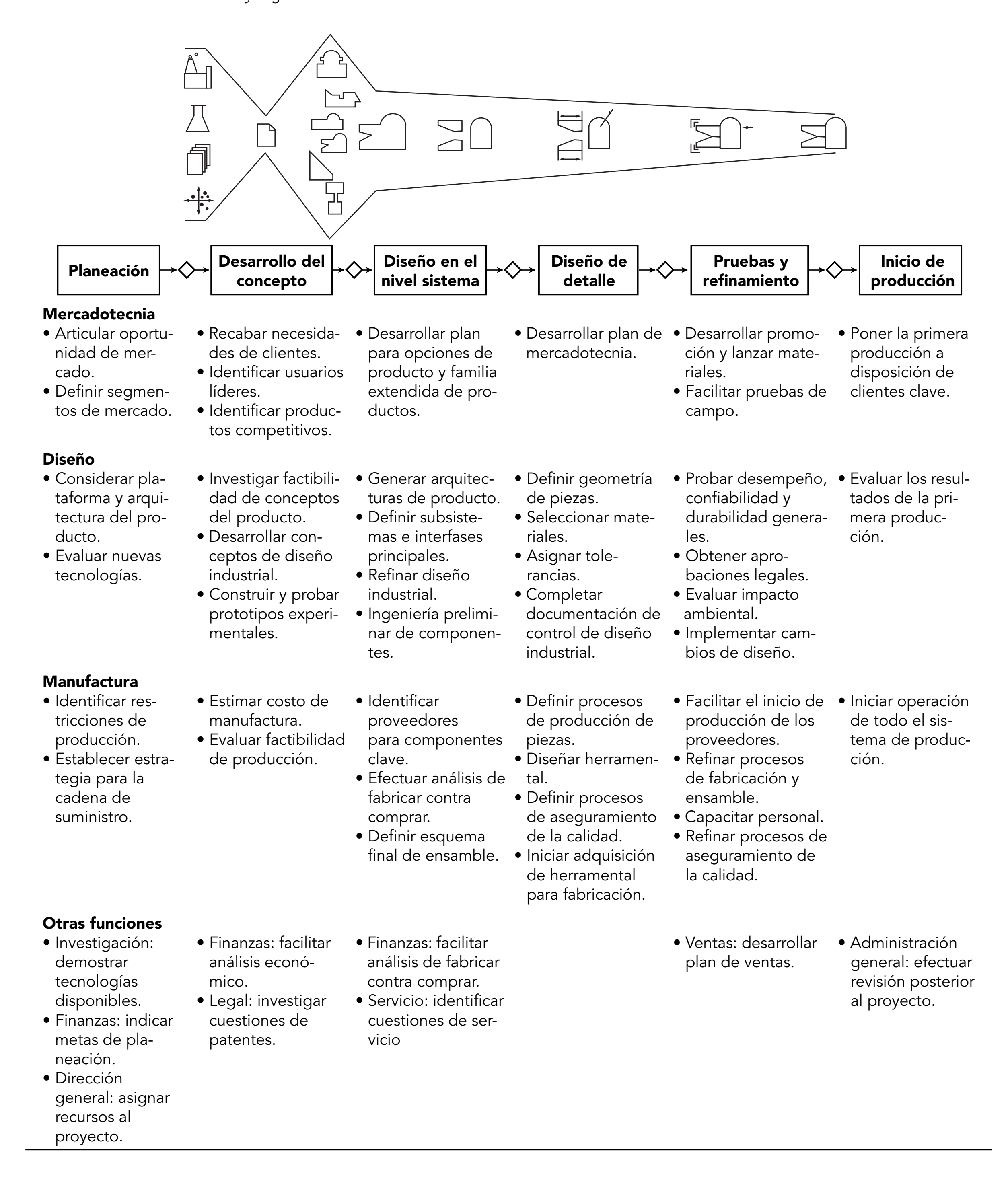


FIGURA 2-2 Proceso genérico de desarrollo de producto. Se muestran seis fases, con algunas actividades y responsabilidades habituales de las funciones de negocios básicas de cada fase.

ducto. Esta fase comienza por la identificación de las oportunidades guiada por la estrategia corporativa, y abarca la evaluación de los avances de la tecnología y los objetivos de mercado. El resultado de la fase de planeación es la declaración de misión del proyecto, que especifica el objetivo comercial del producto, las metas comerciales, las suposiciones básicas y las limitaciones. En el capítulo 3, Identificación de oportunidades, se presenta un proceso para recopilar, evaluar y elegir de una amplia variedad de oportunidades de productos. En el capítulo 4, Planeación del producto, se ofrece un análisis del proceso subsecuente de planeación del producto.

1. ***Desarrollo del concepto:*** En la fase de desarrollo del concepto se identifican las necesidades del mercado objetivo, se generan y evalúan conceptos alternativos del producto, y uno o más conceptos se seleccionan para desarrollo y pruebas adicionales. Un concepto es una descripción de la forma, función y características de un producto, y por lo general está acompañado por un conjunto de especificaciones, un análisis de productos de la competencia y una justificación económica del proyecto. Este libro presenta varios métodos detallados para la fase de desarrollo de un concepto (capítulos 5-9). En la siguiente sección expandimos esta fase en cada una de sus actividades constitutivas.
2. ***Diseño a nivel sistema:*** La fase de diseño a nivel sistema incluye la definición de la arquitectura del producto y la descomposición del producto en subsistemas y componentes. Los planes iniciales para el sistema de producción y el esquema de ensamble final para el sistema de producción suelen definirse también durante esta fase. La salida de esta fase por lo general comprende un diseño geométrico del producto, una especificación funcional de cada uno de los subsistemas del producto y un diagrama de flujo preliminar del proceso para el ensamble final. El capítulo 10, Arquitectura del producto, examina algunas actividades importantes del diseño a nivel sistema.
3. ***Diseño de detalle:*** La fase de diseño de detalle incluye la especificación completa de la geometría, materiales y tolerancias de todas las partes únicas del producto y la identificación de todas las partes estándar a ser adquiridas de proveedores. Se establece un plan de proceso y se diseña el herramental para cada pieza a ser fabricada dentro del sistema de producción. La salida de esta fase es la *documentación de control* del producto, es decir, los dibujos o archivos de computadora que describen la geometría de cada una de las piezas y su herramental de producción, las especificaciones de las piezas compradas, y los planes de proceso para la fabricación y ensamble del producto. Tres problemas de importancia crucial que se consideran mejor en el proceso de desarrollo del producto, pero que se finalizan en la fase de diseño de detalle, son: la selección de materiales, el costo de producción y el desempeño robusto del producto. Estos problemas se analizan respectivamente en el capítulo 12, Diseño para el ambiente, capítulo 13, Diseño para manufactura, y capítulo 15, Diseño robusto.
4. ***Pruebas y refinamiento:*** La fase de pruebas y refinamiento comprende la construcción y evaluación de versiones múltiples de preproducción del producto. Los primeros prototipos (*alfa*) por lo general se construyen con piezas *destinadas a producción*, es decir, piezas con la misma geometría y propiedades de material que la versión de producción del producto, pero no necesariamente fabricadas con los procesos reales a usarse en producción. Los prototipos alfa se prueban para determinar si el producto funcionará como está diseñado y si el producto satisface las necesidades de los clientes clave. Los prototipos siguientes (*beta*) por lo general se construyen con piezas obtenidas de los procesos destinados a producción, pero no se pueden ensamblar usando el proceso de ensamble final pre-

tendido. Los prototipos beta son evaluados exhaustivamente en forma interna y también en general son probados por clientes en su propio ambiente de uso. La meta para los prototipos beta suele ser responder preguntas acerca de la operación y confiabilidad para identificar cambios de ingeniería necesarios para el producto final. El capítulo 14, Construcción de prototipos, presenta un análisis completo de la naturaleza y uso de prototipos.

5. ***Inicio de producción:*** En la fase de inicio de producción, el producto se hace usando el sistema de producción pretendido. El propósito del inicio es capacitar al personal y resolver cualquier problema en los procesos de producción. Los productos elaborados durante el inicio se proporcionan a veces a clientes preferidos y son cuidadosamente evaluados para identificar cualquier falla. La transición de inicio de producción a producción en curso suele ser gradual. En algún punto en esta transición, el producto es *lanzado* y queda disponible para su distribución generalizada. Más adelante puede efectuarse una *revisión del proyecto posterior al lanzamiento*. Esta revisión incluye una evaluación del proyecto desde las perspectivas tanto comercial como técnica, y tiene la finalidad de identificar formas de mejorar el proceso de desarrollo para proyectos futuros.

Desarrollo del concepto: el proceso frontal

Debido a que quizá la fase de desarrollo del concepto demande más coordinación entre funciones que ninguna otra, muchos de los métodos integrales de desarrollo presentados en este libro se concentran aquí. En esta sección ampliamos la fase de desarrollo de concepto en lo que llamamos el *proceso frontal*. El proceso frontal generalmente contiene numerosas actividades relacionadas entre sí, ordenadas en forma aproximada como se ve en la figura 2-3.

Sólo en raras ocasiones el proceso avanza en forma puramente secuencial, completando cada actividad antes de empezar la siguiente. En la práctica, las actividades iniciales se pueden traslapar en tiempo y con frecuencia se hace necesaria la iteración. Las flechas de líneas interrumpidas de la figura 2-3 reflejan la naturaleza incierta del avance en el desarrollo del producto. En casi cualquier etapa puede descubrirse nueva información u otros resultados que pueden hacer que el equipo se detenga para repetir una actividad anterior antes de continuar. Esta repetición de actividades nominalmente completas se conoce como *iteración* de desarrollo.

El proceso de desarrollo de concepto incluye las siguientes actividades:

- ***Identificar las necesidades del cliente:*** El objetivo de esta actividad es entender las necesidades del cliente y comunicarlas en forma efectiva al equipo de desarrollo. El resultado

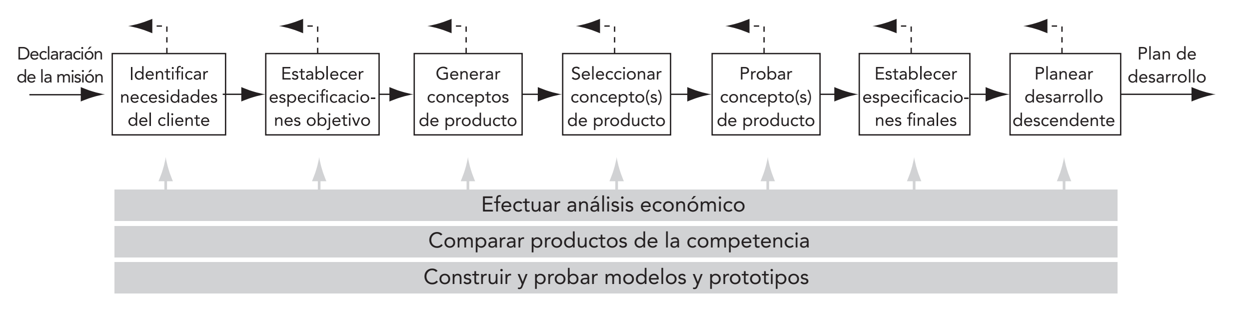


FIGURA 2-3 Las diversas actividades iniciales que comprenden la fase de desarrollo del concepto.

de este paso es un conjunto de enunciados cuidadosamente construidos de las necesidades del cliente, organizados en una lista jerárquica con valores de importancia para muchas o todas las necesidades. Un método para esta actividad se presenta en el capítulo 5, Identificación de las necesidades del cliente.

- ***Establecer especificaciones objetivo:*** Las especificaciones dan una descripción precisa de lo que el producto tiene que hacer. Son la traducción de las necesidades del cliente en términos técnicos. Los objetivos de las especificaciones se establecen claramente en el proceso y representan las expectativas del equipo de desarrollo. Posteriormente, estas especificaciones se refinan para que sean consistentes con las restricciones impuestas por la selección de un concepto de producto realizada por el equipo. El resultado de esta etapa es una lista de especificaciones objetivo. Cada una de las especificaciones consta de una métrica, así como de valores marginales e ideales para ésta. Un método para establecer las especificaciones se da en el capítulo 6, Especificaciones del producto.
- ***Generación de conceptos:*** La meta de la generación de conceptos es explorar en su totalidad el universo de conceptos de producto que puedan abordar las necesidades del cliente. La generación de conceptos incluye una mezcla de búsqueda externa, solución creativa de problemas dentro del equipo y exploración sistemática de los diversos fragmentos de solución que genera el equipo. El resultado de esta actividad es por lo general un conjunto de 10 a 20 conceptos, cada uno de ellos típicamente representado por un bosquejo y un breve texto descriptivo. El capítulo 7, Generación de concepto, describe en detalle esta actividad.
- ***Selección del concepto:*** La selección del concepto es la actividad en la que se analizan y en forma secuencial se eliminan varios conceptos de producto, con objeto de identificar el concepto(s) más prometedor(es). El proceso requiere por lo general de varias iteraciones y puede iniciar la generación y refinamiento de conceptos adicionales. Un método para esta actividad se describe en el capítulo 8, Selección del concepto.
- ***Prueba del concepto:*** Uno o más conceptos se prueban para verificar que las necesidades del cliente se han satisfecho, se evalúa el potencial de mercado del producto y se identifica cualquier defecto que debe ser corregido durante un desarrollo posterior. Si la respuesta del cliente es mala, el proyecto del desarrollo puede terminar o se pueden repetir actividades anteriores según sea necesario. El capítulo 9, Prueba de concepto, presenta un método para esta actividad.
- ***Establecer especificaciones finales:*** Las especificaciones objetivo establecidas antes en el proceso se revisan después de que un concepto se ha seleccionado y probado. En esta etapa, el equipo debe dedicarse a especificar valores de la métrica que reflejen las restricciones inherentes en el concepto del producto, limitaciones identificadas por medio de modelado técnico y concesiones entre costo y desempeño. El capítulo 6, Especificaciones del producto, explica a detalle esta actividad.
- ***Planeación del proyecto:*** En esta actividad final del desarrollo del concepto, el equipo crea un programa detallado de desarrollo, concibe una estrategia para reducir al mínimo el tiempo de desarrollo e identifica los recursos necesarios para completar el proyecto. Los resultados principales de las actividades iniciales se pueden capturar de manera útil en una *bitácora* que contiene la declaración de la misión, las necesidades del cliente, los detalles del concepto seleccionado, las especificaciones del producto, el análisis económico del producto, el programa de desarrollo, la asignación de personal para el proyecto y el presupuesto. La bitácora sirve para documentar el convenio (contrato) entre el equipo

y la alta administración de la empresa. En el capítulo 18, Administración de proyectos, se presenta un método de planeación del proyecto.

- ***Análisis económico:*** El equipo, a veces con el apoyo de un analista financiero, construye un modelo económico para el nuevo producto. Este modelo se usa para justificar la continuación del programa general de desarrollo y para resolver concesiones específicas, por ejemplo, entre costos de desarrollo y costos de manufactura. El análisis económico se muestra como una de las actividades en curso de la fase de desarrollo del concepto. Un análisis económico previo casi siempre se efectuará incluso antes de que el proyecto se inicie y este análisis se actualiza a medida de que se disponga de más información. Un método para esta actividad se presenta en el capítulo 17, Economía de desarrollo del producto.
- ***Comparación de productos de la competencia:*** Es de suma importancia la comprensión de los productos de la competencia para lograr el posicionamiento exitoso de un nuevo producto; además, este conocimiento puede ser una rica fuente de ideas para el diseño del producto y el proceso de producción. La *comparación* de productos de la competencia se efectúa en apoyo de muchas de las actividades iniciales. Varios aspectos de la comparación de productos de la competencia se presentan en los capítulos 5-9.
- ***Modelado y construcción de prototipos:*** Cada una de las etapas del proceso de desarrollo del concepto abarca varias formas de modelos y prototipos. Éstas pueden incluir, entre otras: modelos iniciales para "pruebas de concepto", que ayudan al equipo de desarrollo a demostrar la factibilidad; modelos "sólo de forma", que se pueden presentar a clientes para evaluar la ergonomía y el estilo; modelos de hoja de cálculo de concesiones técnicas, y modelos experimentales de prueba, que se pueden usar para establecer parámetros de diseño para desempeño robusto. Los métodos para modelar, construir prototipos y para pruebas se analizan en todo el libro, incluyendo los capítulos 5-7, 9, 11, 14 y 15.

Adaptación del proceso genérico de desarrollo de un producto

El proceso de desarrollo descrito en las figuras 2-2 y 2-3 es genérico, y los procesos particulares van a diferir de acuerdo con el contexto único de la empresa. El proceso genérico es, con mucha probabilidad, el que se utiliza en una situación de *influencia de mercado*: una empresa inicia el desarrollo del producto con una oportunidad de mercado y luego utiliza cualquier tecnología existente que se requiera para satisfacer dichas necesidades (es decir, el mercado "influye" en las decisiones de desarrollo). Además del proceso de influencia de mercado señalado en las figuras 2-2 y 2-3, diversas variantes son comunes y corresponden a lo siguiente: productos *impulsados por la tecnología*, productos *de plataforma*, productos *de proceso intensivo*, productos *personalizados*, productos *de alto riesgo*, productos *de rápida elaboración* y *sistemas complejos.* Cada una de estas situaciones se describe a continuación. Las características de estas situaciones y las resultantes desviaciones del proceso genérico se resumen en la figura 2-4.

Productos impulsados por la tecnología

Al desarrollar productos impulsados por la tecnología, la empresa empieza con una nueva tecnología patentada y busca un mercado apropiado en el cual aplicar esta tecnología (es decir, la tecnología "empuja" o "influye" en el desarrollo). Gore-Tex, una lámina de teflón expandido manufacturada por W. L. Gore Associates, es un notable ejemplo de impulso por la tecnolo-

Tipo de proceso	Descripción	Características distintivas	Ejemplos
Desarrollo genérico de productos (influenciados por el mercado)	El equipo empieza con una oportunidad de mercado y selecciona tecnologías apropiadas para satisfacer necesidades del cliente.	El proceso generalmente incluye una planeación particular, desarrollo del concepto, diseño a nivel sistema, diseño a detalle, pruebas y refinamiento, y fases de inicio de producción.	Artículos deportivos, muebles, herramientas.
Productos impulsados por la tecnología	El equipo empieza con una nueva tecnología, luego encuentra un mercado apropiado.	La fase de planeación comprende compaginar tecnología y mercado. El desarrollo de concepto toma una tecnología determinada.	Impermeable Gore-Tex, sobres Tyvek.
Productos de plataforma	El equipo supone que el nuevo producto se construirá alrededor de un subsistema tecnológico establecido.	El desarrollo de concepto adopta una plataforma de tecnología probada.	Aparatos electrónicos para el hogar, computadoras, impresoras.
Productos de proceso intensivo	Características del producto muy restringidas por el proceso de producción.	Un proceso existente de producción debe especificarse desde el inicio, o producto y proceso deben desarrollarse juntos desde el inicio.	Bocadillos, cereales para desayuno, productos químicos, semiconductores.
Productos personalizados	Los nuevos productos son ligeras variaciones de configuraciones existentes.	Similitud de proyectos permite un proceso de desarrollo afinado y altamente estructurado.	Motores, interruptores, baterías, recipientes.
Productos de alto riesgo	Incertidumbres técnicas o de mercado crean altos riesgos de fracaso.	Los riesgos se identifican temprano y se rastrean en todo el proceso. El análisis y pruebas de actividades ocurren tan pronto como sea posible.	Productos farmacéuticos, sistemas aeroespaciales.
Productos de rápida elaboración	El rápido modelado y generación de prototipos hacen posible muchos ciclos de diseño-construcción-prueba.	Las fases de diseño de detalle y pruebas se repiten varias veces hasta que el producto se termina o se agota el tiempo o el presupuesto.	Software, teléfonos celulares.
Sistemas complejos	Los sistemas deben descomponerse en varios subsistemas y muchos componentes.	Subsistemas y componentes son desarrollados por muchos equipos que trabajan en paralelo, seguidos por integración y validación del sistema.	Aviones, motores de reacción, automóviles.

FIGURA 2-4 Resumen de variantes del proceso genérico de desarrollo del producto.

gía. La compañía ha desarrollado docenas de productos que incorporan el Gore-Tex, incluyendo venas artificiales para cirugía vascular, aislamiento para cables eléctricos de alto rendimiento, tela para prendas de vestir, hilo dental y forros para bolsas de gaitas.

Numerosos productos exitosos influenciados por la tecnología contienen materiales básicos o tecnologías de procesos básicos. Esto puede ser porque materiales y procesos básicos se presentan en miles de aplicaciones y, por lo tanto, hay una alta probabilidad de que nuevas y poco comunes características de materiales y procesos se ajusten a una aplicación apropiada.

El proceso genérico de desarrollo del producto se puede usar con modificaciones menores para productos influenciados por la tecnología. El proceso influenciado por tecnología empieza con la fase de planeación, en la que una tecnología dada se ajusta a una oportunidad de mercado. Una vez que haya ocurrido este ajuste, el resto del proceso genérico de desarrollo puede seguirse. El equipo incluye una suposición en la declaración de la misión de que la tecnología particular será incorporada en los conceptos del producto considerados por el equipo. Aun cuando muchos productos extremadamente exitosos han surgido por el desarrollo influenciado por tecnología, este método es riesgoso. Es improbable que el producto sea exitoso a menos que 1) la tecnología supuesta ofrezca una clara ventaja competitiva para satisfacer las necesidades del cliente, y 2) los competidores no dispongan de tecnologías alternativas apropiadas o que sea muy difícil que las usen. Es posible que el riesgo del proyecto se reduzca al mínimo si se considera de manera simultánea el mérito de un conjunto de conceptos más general que no necesariamente incorpore la nueva tecnología. De esta forma, el equipo verifica que el concepto de producto que integre la nueva tecnología es superior a las alternativas.

Productos de plataforma

Un producto de plataforma se construye alrededor de un subsistema tecnológico ya existente (una *plataforma* de tecnología). Ejemplos de estas plataformas son el conjunto de chips de Intel en una computadora personal, el sistema operativo del iPhone de Apple y el diseño de las navajas de una máquina de afeitar Gillette. Se realizaron enormes inversiones para desarrollar estas plataformas y por lo tanto se intenta incorporarlas en productos diversos. En cierto sentido, los productos plataforma son muy semejantes a productos impulsados por la tecnología ya que el equipo empieza el trabajo de perfeccionamiento con una suposición de que el concepto de producto va a incorporar una tecnología particular. La diferencia básica es que una plataforma de tecnología ya ha demostrado su utilidad en el mercado al satisfacer necesidades de clientes. La empresa puede en muchos casos suponer que la tecnología también será útil en mercados relacionados. Los productos construidos sobre plataformas tecnológicas son mucho más sencillos para perfeccionar que si la tecnología se desarrollara desde el principio. Por esta razón, y debido a que posiblemente se compartan costos en varios productos, una empresa puede ser capaz de ofrecer un producto de plataforma en mercados que no podrían justificar el perfeccionamiento de una tecnología única.

Productos de proceso intensivo

Ejemplos de productos de proceso intensivo incluyen semiconductores, alimentos, produc tos químicos y papel. Para estos productos, el proceso de producción pone estrictas restricciones sobre las propiedades del producto, de modo que el diseño del producto no se puede separar, incluso en la fase de concepto, del diseño del proceso de producción. En muchos casos, los productos de proceso intensivo se fabrican en volúmenes muy altos y a granel, contrario a los discretos.

En algunas situaciones, un nuevo producto y nuevo proceso se desarrollan de manera simultánea. Por ejemplo, crear una nueva forma de cereal para desayuno o un bocadillo requerirá actividades de desarrollo del producto y del proceso. En otros casos, se selecciona por anticipado un proceso existente específico para elaborar el producto y el diseño del producto está restringido por las capacidades de este proceso. Esto podría ser cierto para un nuevo producto de papel que ha de hacerse en una particular fábrica de papel, o para un nuevo dispositivo semiconductor que ha de hacerse en una planta ya existente.

Productos personalizados

Ejemplos de productos personalizados incluyen interruptores, motores, baterías y recipientes. Los productos personalizados son ligeras variaciones de configuraciones estándar y por lo general se desarrollan en respuesta a un pedido específico de un cliente. El desarrollo del producto personalizado consiste básicamente en establecer valores de variables de diseño tales como dimensiones físicas y materiales. Se pueden suministrar plantillas para productos personalizados específicos con herramientas de diseño en línea. Cuando un cliente solicita un nuevo producto, la empresa ejecuta un diseño estructurado y proceso de desarrollo para crear el producto para satisfacer las necesidades del cliente. Estas empresas por lo general han creado un proceso de desarrollo altamente detallado que comprende una bien definida secuencia de pasos con un flujo de información estructurado (similar a un proceso de producción). Para productos personalizados, el proceso genérico se aumenta con una descripción detallada de las actividades específicas de procesamiento de información requeridas dentro de cada una de las fases. Estos procesos de desarrollo pueden consistir en cientos de actividades cuidadosamente definidas y ser muy automatizados.

Productos de alto riesgo

El proceso de desarrollo del producto enfrenta muchos tipos de riesgo. Éstos incluyen riesgo técnico (¿El producto funcionará correctamente?), riesgo de mercado (¿A los clientes les gustará lo que el equipo desarrolle?), y riesgo de presupuesto y programación de tiempos (¿Puede el equipo completar el proyecto a tiempo y dentro del presupuesto?). Los productos de alto riesgo son aquellos que entrañan grandes incertidumbres relacionadas con la tecnología o el mercado, de modo que hay un importante riesgo técnico o de mercado. El proceso genérico de desarrollo del producto se modifica en situaciones de alto riesgo al dar pasos para manejar los riesgos más grandes en las primeras etapas del desarrollo del producto. Esto suele requerir completar algunas actividades de diseño y pruebas en las primeras etapas del proceso. Por ejemplo, cuando hay gran incertidumbre respecto a que el cliente acepte un nuevo producto, la prueba de concepto que use dibujos o prototipos de interfase de usuario se puede hacer en las primeras etapas del proceso para reducir la incertidumbre y riesgo del mercado. Si hay alta incertidumbre relacionada con el desempeño técnico del producto, es lógico construir modelos funcionales de las características clave y probar éstos al principio del proceso. Se pueden explorar en paralelo múltiples caminos de solución para asegurarse de que una de las soluciones tenga éxito. Las revisiones al diseño deben evaluar niveles de riesgo en forma regular, esperando que los riesgos se reduzcan en el futuro y no se pospongan.

Productos de rápida elaboración

Para el desarrollo de algunos productos, como software y muchos productos electrónicos, construir y probar modelos de prototipo se ha hecho un proceso tan rápido que el ciclo de di-

seño-construcción-prueba se puede repetir varias veces. De hecho, los equipos pueden aprovechar la rápida iteración para lograr un proceso más flexible y sensible de desarrollo del producto, a veces llamado *proceso de desarrollo del producto en espiral.* Posterior al desarrollo de concepto en este proceso, la fase de diseño a nivel sistema trae consigo la descomposición del producto en características de prioridad alta, media y baja. Esto es seguido por varios ciclos de actividades de diseño, construcción, integración y pruebas, empezando con las características de mayor prioridad. Este proceso se beneficia del rápido ciclo de construcción de prototipos al usar el resultado de cada ciclo para aprender cómo modificar las prioridades para el siguiente. Los clientes pueden incluso participar en el proceso de prueba después de uno o más ciclos. Cuando se agota el tiempo o el presupuesto, por lo general todas las funciones de prioridad alta y media se han incorporado en el producto en evolución, y las funciones de baja prioridad pueden omitirse hasta la siguiente generación del producto.

Sistemas complejos

Los productos de mayor escala, como automóviles y aviones, son sistemas complejos que comprenden muchos subsistemas y componentes en continua interacción. Cuando se desarrollan sistemas complejos, las modificaciones al proceso genérico de desarrollo del producto abordan varios problemas a nivel sistema. La fase de desarrollo del concepto considera la arquitectura de todo el sistema y múltiples arquitecturas pueden ser consideradas como conceptos diferentes que compiten por el sistema general. La fase de diseño a nivel sistema se vuelve crucial. Durante esta fase, el sistema se descompone en subsistemas y éstos más adelante en muchos componentes. Los equipos se asignan para desarrollar cada componente. Otros equipos se asignan al especial desafío de integrar componentes en subsistemas y éstos en el sistema general.

El diseño de detalles de los componentes es un proceso altamente paralelo en el que los muchos equipos de desarrollo trabajan al mismo tiempo, en general por separado. El manejo de la red de interacciones de los componentes y subsistemas es la tarea de diversos especialistas en ingeniería de sistemas. La fase de prueba y refinamiento incluye no sólo la integración del sistema, sino también numerosas pruebas y validación a todos los niveles.

Flujos del proceso de desarrollo del producto

Por lo general, el proceso de desarrollo del producto sigue un flujo estructurado de actividades e información. Esto nos permite trazar *diagramas de flujo de un proceso* que ilustren el proceso, como se muestra en la figura 2-5. Un diagrama genérico de flujo de proceso *a*) describe el proceso empleado para desarrollar productos influenciados por el mercado, impulsados por tecnología, de plataforma, de proceso intensivo, personalizados y de alto riesgo. Cada una de las fases (o etapas) de desarrollo del producto es seguida por una revisión (o paso de control) para confirmar que la fase se ha completado y para determinar si el proyecto continúa. Los productos de rápida elaboración hacen posible un proceso de desarrollo del producto en espiral *b*) conforme al cual las actividades de diseño de detalles, construcción de prototipos y pruebas se repiten varias veces. El diagrama de flujo del proceso para desarrollo de sistemas complejos *c*) muestra el desglose en etapas paralelas de trabajo de los muchos subsistemas y componentes. Una vez que el proceso de desarrollo del producto se haya establecido dentro de una organización, el diagrama de flujo de proceso se emplea para explicar el proceso a todos los miembros del equipo.

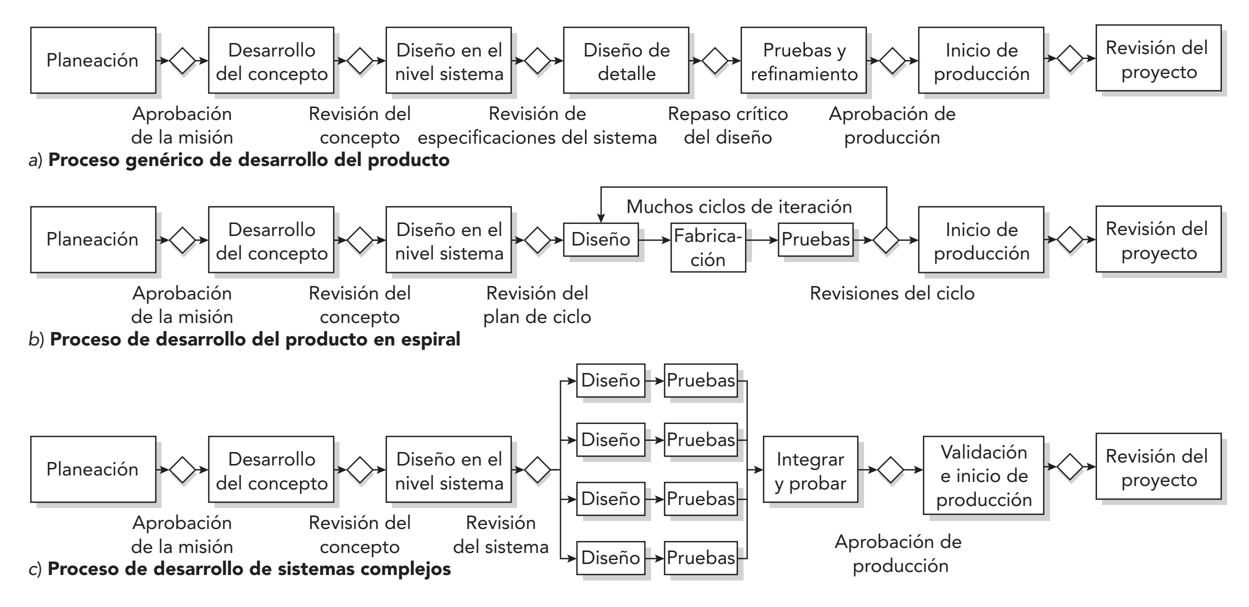
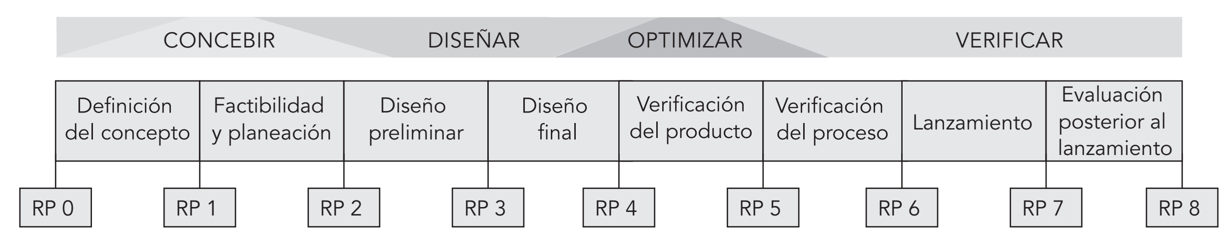


FIGURA 2-5 Diagramas de flujo de proceso para tres procesos de desarrollo del producto.

Proceso de desarrollo de producto de Tyco

Tyco es sobre todo una empresa con influencia del mercado. Esto significa que Tyco suele impulsar sus proyectos de desarrollo a partir de una necesidad de mercado percibida y, para satisfacerla, recurre a tecnologías nuevas o establecidas. Su ventaja competitiva proviene de canales de mercadotecnia muy eficaces en todo el mundo, un sólido reconocimiento de marca, una gran base de equipo instalada y la capacidad de integrar nuevas tecnologías a sus líneas de producto. Por esta razón no sería adecuado un proceso con impulso tecnológico. La mayoría de los productos de Tyco se ensambla a partir de componentes fabricados mediante procesos relativamente convencionales, como moldeado, máquinas y ensamblado de electrónica. En general, los productos se personalizan para clientes particulares en los procesos finales de ventas e instalación, por lo que el proceso de desarrollo de Tyco se dirige sobre todo a la creación de nuevos modelos de productos y no a la personalización de modelos ya existentes.

Por tanto, Tyco estableció un proceso común de desarrollo de producto semejante al proceso genérico de fases. En la figura 2-6 se ilustra el flujo del proceso resultante, Tyco Rally



Cortesía de Tyco International

FIGURA 2-6 El proceso de desarrollo de producto Rally Point de Tyco abarca nueve fases y entradas de revisión.

Point. Observe que hay nueve fases en el proceso Rally Point, seis de las cuales (desde la definición del concepto hasta la verificación del proceso) abarcan las actividades fundamentales del proceso de desarrollo de productos. A cada fase le sigue una revisión crítica (llamada Rally Point), necesaria para obtener la aprobación y proseguir así a la siguiente fase. En la figura 2-7 se muestran la meta principal y las actividades indispensables de cada fase, así como la función de negocios responsable de cada actividad.

Si bien Tyco estableció el Rally Point como su proceso estándar, los gerentes de Tyco se percataron de que este proceso no se ajustaría por completo a todos sus proyectos de desarrollo en todas las unidades de negocios. Por tanto, una actividad básica en la fase de definición del concepto es seleccionar una variante del proceso Rally Point, si fuera necesario. Por ejemplo, algunos productos nuevos de Tyco se basan en plataformas tecnológicas ya existentes. Para desarrollar estos productos derivados, el equipo supone que se va a emplear la plataforma tecnológica existente durante el desarrollo del concepto. Asimismo, algunos productos se diseñan para clientes específicos, como variantes de marcas propias de productos estándar de Tyco. En estos casos se aplica un proceso simplificado, el Rally Point EZ. No obstante, el proceso de desarrollo de producto Rally Point estándar es la base a partir de la cual comienza un plan de proyecto particular.

Organizaciones de desarrollo del producto

Además de idear un efectivo proceso de desarrollo, las empresas exitosas deben organizar de manera eficiente a su personal de desarrollo del producto. En esta sección describimos varios tipos de organizaciones empleadas para el desarrollo del producto y se ofrecen guías para escoger entre estas opciones.

Las organizaciones se forman al establecer vínculos entre individuos

Una organización para desarrollo del producto es el esquema por el cual diseñadores y desarrolladores individuales se unen en grupos. Los enlaces entre empleados pueden ser formales o informales e incluyen, entre otros, estos tipos:

- ***Relaciones de informe:*** Las relaciones de informe dan lugar a la clásica noción de *supervisor* y *subordinado.* Éstos son los lazos formales que con más frecuencia se ven en un organigrama.
- ***Arreglos financieros:*** Los empleados quedan unidos al ser parte de la misma entidad financiera, como una unidad de negocios o departamento al interior de una empresa.
- ***Diseño físico:*** Los lazos se crean entre empleados cuando éstos comparten la misma oficina, piso, edificio o sitio. Estos lazos suelen ser informales ya que son consecuencia de encuentros informales en el trabajo.

Cualquier individuo puede estar relacionado en varias formas con otros. Por ejemplo, un ingeniero puede estar vinculado por una relación de informe con otro ingeniero en un edificio diferente, mientras que está vinculado por distribución física a un empleado de mercadotecnia que trabaja en la oficina de al lado. Los vínculos de organización más fuertes son por lo general aquellos que abarcan la evaluación de operación, presupuestos y otras asignaciones de recursos.

Fase Rally Point	0. Registro del proyecto	1. Definición del concepto	2. Factibilidad y planeación	3. Diseño preliminar	4. Diseño final	5. Verificación del producto	6. Verificación del proceso	7. Lanzamiento	8. Evaluación posterior al lanzamiento
Meta principal	Se definen el proyecto y las necesidades de las unidades de negocios	Se elaboran el concepto y los estatutos del proyecto	Se crea la descripción del producto	Se crea un diseño preliminar detallado	Se detalla y optimiza el diseño	Se demuestra el desempeño del producto	Se demuestra el desempeño del proceso	Se lanza el producto	Se identifican las lecciones aprendidas
Mercadotecnia y ventas	Se identifica a los clientes y las dimensiones del mercado Se describen las características y beneficios competitivos Se identifican el costo y precio objetivos	Se capta el sentir de los clientes Se analizan las necesidades de los clientes Se documentan las necesidades de los clientes	Se elaboran planes de mercadotecnia y ventas Se crean planes de entrada y salida de fases	Se revisan los conceptos con los clientes		Se inician las pruebas de campo	Se completan las pruebas de campo Se finalizan los planes de capacitación	Se finalizan los pronósticos de precio y venta Se completa la capacitación de ventas y servicio	Se solicitan realimentación y calificaciones de satisfacción de los clientes Se miden las ventas respecto del pronóstico Se completan las entradas y salidas de fases
Ingeniería	Se identifican riesgos del proyecto	Se identifican especificaciones cruciales para la calidad Se elaboran y seleccionan conceptos Se actualizan riesgos del proyecto	Se crean mediciones funcionales de especificación y desempeño Se revisa la selección del concepto Se define la arquitectura del producto Se evalúan modos de fallas técnicas	Se efectúa una revisión preliminar de diseño Se fabrican y prueban prototipos alfa Se evalúan modos de falla de producto	Se detiene el diseño de hardware y software Se completa la documentación de ingeniería Se esboza la documentación técnica Se aseguran prototipos beta	Se finaliza la documentación de diseño Se completan las pruebas de prototipos beta y de campo Se solicitan aprobaciones regulativas	Se obtienen las aprobaciones regulativas	Se finalizan las mediciones del producto	
Aseguramiento de calidad			Se crea un plan de prueba preliminar		Se prueba la solidez de los prototipos beta	Se completa la prueba de aseguramiento de calidad	Se efectúan pruebas de verificación del proceso		
Manufactura				Se comienza con el desarrollo del producto Se efectúa una revisión preliminar del proceso de manufactura	Se finaliza la lista de materiales (LDM) Se elaboran planes de control de manufactura	Se actualizan los planes de control de manufactura	Se efectúan pilotos de manufactura Se finalizan los planes de control de manufactura		Se registran productos obsoletos y chatarra
Adquisición				Se crea una matriz de participación de proveedores Se evalúa a los proveedores para su certificación	Se identifican artículos de necesidad extensa		Se verifica la aptitud de la cadena de suministro		
Legal		Se buscan patentes	Se identifican problemas de cumplimiento comercial	Se identifican patentes potenciales	Se preparan solicitudes de patentes	Se garantiza el cumplimiento comercial			
Financiero	Se prepara el caso de negocios preliminar	Se perfecciona el caso de negocios	Se completa el paquete financiero	Se actualizan las entregas RP2 Se prepara la lista RP3 y se somete a aprobación					Se supervisa el rendimiento sobre la inversión
Administración del proyecto	Se identifican el tiempo, recursos y capital del proyecto Se prepara la lista de RP0 y se somete a aprobación	Se evalúan las capacidades/habilidades del equipo Se identifica a los miembros del equipo de desarrollo Se selecciona una variante del proceso Rally Point Se prepara la lista de RP1 y se somete a aprobación	Se programa el plan integrado de desarrollo de producto Se asigna un gerente de proyecto Se actualizan las entregas RP1 Se prepara la lista RP2 y se somete a aprobación		Se actualizan las entregas RP1-3 Se prepara la lista RP4 y se somete a aprobación	Se actualizan las entregas RP1-4 Se prepara la lista RP5 y se somete a aprobación	Se actualizan las entregas RP5 Se prepara la lista RP6 y se somete a aprobación	Se finalizan todas las entregas Se finalizan los planes y documentación del lanzamiento Se actualizan las entregas RP6 Se prepara la lista RP7 y se somete a aprobación	Se documentan las mejores prácticas Se prepara la lista RP8 y se somete a aprobación

Cortesía de Tyco International

FIGURA 2-7 Actividades básicas y funciones responsables que componen el proceso de desarrollo de producto Tyco Rally Point.

Los vínculos organizacionales pueden alinearse con funciones o proyectos, o ambos

Cualesquiera que sean los lazos organizacionales, los empleados pueden clasificarse en dos categorías diferentes: de acuerdo con su *función* y de acuerdo con los *proyectos* en los que trabajen.

- Una función (en términos organizacionales) es un área de responsabilidad que por lo general comprende educación, capacitación o experiencia especializadas. Las funciones clásicas en organizaciones de desarrollo del producto son mercadotecnia, diseño y manufactura. Divisiones más finas que éstas son también posibles y pueden incluir, por ejemplo, investigación de mercados, estrategia de mercados, análisis de esfuerzo, diseño industrial, ingeniería de factores humanos, desarrollo de procesos y administración de operaciones.
- Sin considerar sus funciones, los empleados aplican su experiencia a proyectos específicos. En el desarrollo del producto, un proyecto es el conjunto de actividades del proceso de desarrollo para un producto particular e incluye, por ejemplo, identificar necesidades de clientes y generación de conceptos del producto.

Nótese que estas dos clasificaciones deben traslaparse: individuos de funciones diversas trabajarán en el mismo proyecto. De la misma forma, aunque varios individuos tienen una sola función, también trabajan en más de un proyecto. Dos estructuras organizacionales clásicas surgen de alinear los vínculos organizacionales de acuerdo con la función o con proyectos. En *organizaciones funcionales*, los vínculos de organización son principalmente entre quienes realizan funciones similares. En *organizaciones de proyecto*, los vínculos de organización son principalmente entre quienes trabajan en el mismo proyecto.

Por ejemplo, una organización estrictamente funcional podría incluir un grupo de profesionales de mercadotecnia, donde todos comparten capacitación y experiencia semejantes. Éstos rinden informes al mismo gerente, que los evalúa y fija sus salarios. El grupo tendría su propio presupuesto y ocuparía la misma parte de un edificio. Este grupo de mercadotecnia participaría en muchos proyectos, pero no habría fuertes lazos organizacionales con otros miembros de cada equipo de proyecto. Habría grupos dispuestos de manera semejante correspondientes a diseño y a manufactura.

Una organización estrictamente de proyecto estaría formada por grupos de empleados de funciones diferentes, con cada grupo enfocado al desarrollo de un producto específico (o línea de productos). Estos grupos rinden informes a un experimentado gerente de proyecto, quien podría salir de cualquiera de las áreas funcionales de trabajo. La evaluación del trabajo sería manejada por el gerente de proyecto y en general los miembros del equipo serían colocados cuanto sea posible, de modo que todos trabajen en la misma oficina o parte de un edificio. Los nuevos proyectos, o “arranques”, están entre los ejemplos más extremos de organizaciones de proyecto: cualquier empleado, cualquiera que sea su función, está enlazado por un solo proyecto que es el crecimiento de la nueva compañía y la creación de su(s) producto(s). En estas situaciones, el presidente o director general puede ser visto como el gerente de proyecto. Las empresas establecidas a veces forman un “equipo líder” con recursos dedicados a un solo proyecto cuando se requiere especial enfoque para completar un proyecto importante de desarrollo.

La *organización matricial* fue concebida como un híbrido de organizaciones de funciones y de proyectos. En la organización matricial, los empleados están enlazados a otros según el proyecto en el que trabajen y por sus funciones. En general, cada empleado tiene dos supervi-

sores, un gerente de proyecto y un gerente de funciones. La realidad práctica es que el proyecto o la función tienden a tener lazos más fuertes, lo cual se debe, por ejemplo, a que ambos gerentes no pueden tener autoridad independiente para asignar su personal compartido, no pueden evaluar ni determinar de manera independiente los salarios de sus subordinados y/o ambas organizaciones no pueden agruparse con facilidad físicamente. Por lo tanto, ya sea la organización de funciones o la del proyecto tienden a dominar.

Dos variantes de la organización de matriz se denominan *organización preponderantemente de proyecto* y *organización banalmente de proyecto* (*heavyweight and lightweight project organizations*) (Hayes *et al.*, 1988). Una organización preponderantemente de proyecto contiene fuertes lazos del proyecto. El gerente del proyecto tiene completa autoridad del presupuesto, participa en gran medida en la evaluación del trabajo de los miembros del equipo y toma casi todas las decisiones principales de asignación de recursos. Aun cuando cada participante de un proyecto también pertenece a una organización de funciones, los gerentes de funciones tienen relativamente poca autoridad y control. Un equipo de proyecto de peso pesado en varias industrias puede llamarse *equipo integrado de producto* (EIP), *equipo de construcción de diseño* (ECD) o simplemente *equipo de desarrollo del producto* (EDP). Cada uno de estos términos hace destacar la naturaleza de función cruzada de estos equipos.

Una organización banalmente de proyecto contiene lazos más débiles de un proyecto y enlaces de funciones relativamente más fuertes. En este esquema, el gerente de proyecto es más coordinador y administrador. El gerente de proyecto actualiza programas, arregla reuniones y facilita la coordinación, pero el gerente no tiene autoridad y control reales en la organización del proyecto. Los gerentes de funciones responden de presupuestos, contratar o despedir personal y evaluar el trabajo de éste. La figura 2-8 ilustra las organizaciones puras de funciones y proyecto, junto con las variantes preponderante y banalmente de proyecto de la organización matricial.

En este libro nos referimos al *equipo de proyecto* como la principal unidad de organización. En este contexto, el equipo es el conjunto de individuos que participan en el proyecto, cualquiera que sea la estructura de organización del personal de desarrollo del producto. En una organización de funciones, el equipo está formado por empleados distribuidos en todos los grupos de funciones sin lazos de organización que no sea su participación común en un proyecto. En las otras organizaciones, el equipo corresponde a una entidad de organización, el grupo de proyecto, y tiene un gerente formalmente nombrado. Por esta razón, la noción de un equipo tiene mucho más significado en organizaciones matriciales y de proyecto que en organizaciones de funciones.

Selección de una estructura organizacional

La selección más apropiada de estructura organizacional depende de cuáles factores de desempeño organizacional son más importantes para alcanzar el éxito. Las organizaciones funcionales tienden a producir especialización y gran experiencia en áreas funcionales. Las organizaciones de proyecto tienden a hacer posible una rápida y eficiente coordinación entre funciones diversas. Las organizaciones matriciales, siendo híbridas, tienen el potencial de exhibir algunas de estas características. Las preguntas que siguen ayudan a guiar la selección de una estructura organizacional:

- ***¿Qué tan importante es una integración interfuncional?*** Las organizaciones funcionales pueden presentar dificultad para coordinar decisiones de proyecto que abarquen los cam-

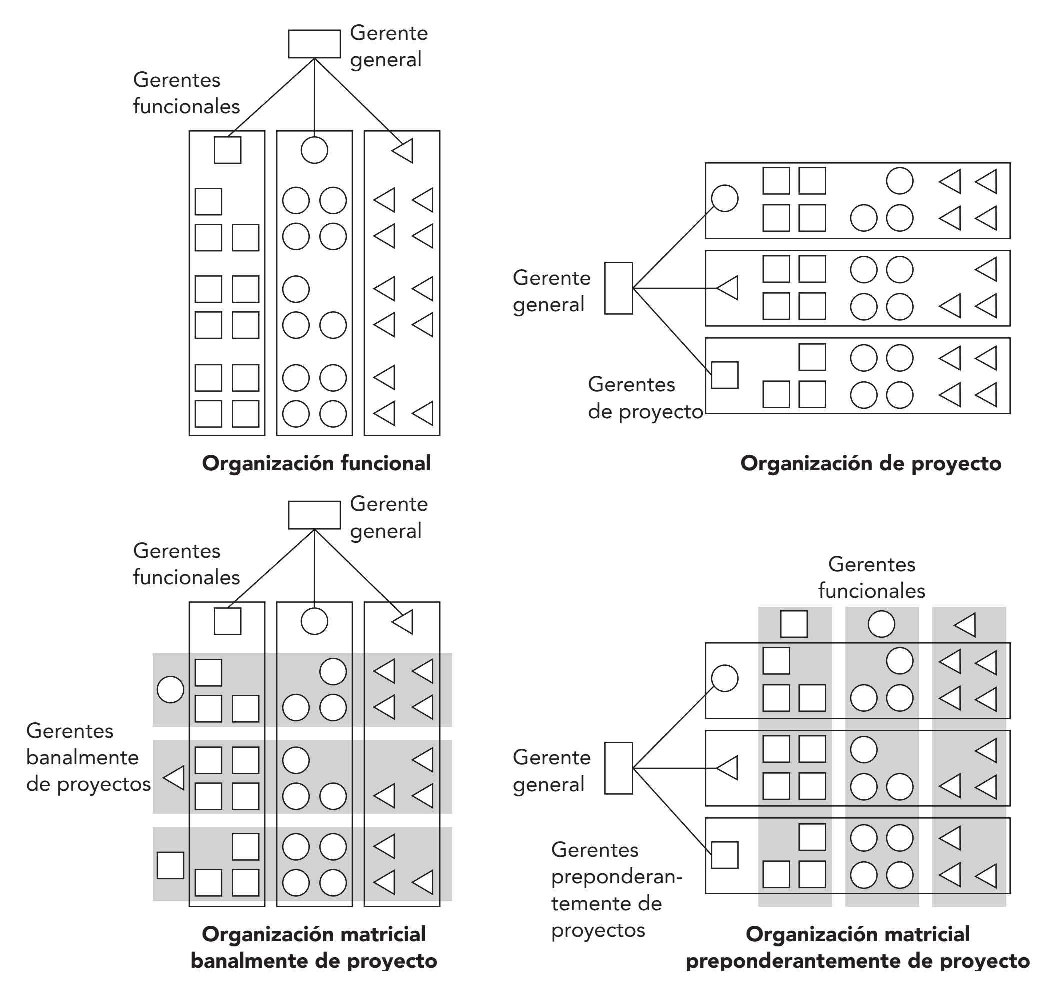


FIGURA 2-8 Ejemplos de organizaciones de desarrollo del producto. Para mayor sencillez, se muestran tres funciones y tres proyectos.

pos de funciones. Las organizaciones de proyecto tienden a hacer posible la integración interfuncional, por los lazos de organización entre miembros del equipo en las funciones.

- ***¿Qué tan crítica es la experiencia funcional de vanguardia para el éxito del negocio?*** Cuando deba desarrollarse y conservar experiencia de vanguardia en disciplinas diversas durante varias generaciones de un producto, entonces se hace necesario contar con lazos interfuncionales. Por ejemplo, en algunas empresas que producen componentes aeroespaciales, el modelado computacional de fluidos es tan crítico que los expertos en dinámica de fluidos se organizan según sus funciones para asegurar que la empresa tendrá la mejor capacidad posible en esta área.
- ***¿Los empleados de cada una de las funciones pueden ser comisionados durante casi toda la duración de un proyecto?*** Por ejemplo, un proyecto puede requerir sólo parte del

tiempo de un diseñador industrial durante el transcurso del proyecto. Para usar con eficiencia recursos de diseño industrial, la empresa puede elegir organizar a los diseñadores industriales según sus funciones, de modo que varios proyectos puedan hacer uso del recurso de diseño industrial en exactamente la proporción necesaria para un proyecto en particular.

- ***¿Qué tan importante es la rapidez de desarrollo del producto?*** Las organizaciones de proyectos tienden a permitir que los conflictos se resuelvan rápidamente, y que los individuos de diferentes funciones coordinen con eficiencia sus actividades. Se emplea relativamente poco tiempo en transferencia de información, asignación de responsabilidades y coordinación del trabajo. Por esta razón, las organizaciones de proyectos suelen ser más rápidas que las organizaciones funcionales para desarrollar productos innovadores. Por ejemplo, los fabricantes de computadoras portátiles casi siempre organizan por proyecto a sus equipos de desarrollo del producto. Esto permite a los equipos desarrollar nuevos productos dentro de los periodos sumamente cortos requeridos por el mercado de computadoras rápidamente cambiante.

Docenas de otros problemas confunden la selección entre organizaciones funcionales y de proyectos. La figura 2-9 resume algunos de los puntos fuertes y débiles de cada tipo de organización, ejemplos de los tipos de empresas que siguen cada estrategia y las cuestiones principales asociadas con cada método.

Equipos distribuidos de desarrollo de producto

Es bien sabido que una manera muy eficaz de organizar un equipo de desarrollo de producto es ubicar a los miembros en un solo lugar. Sin embargo, la moderna tecnología de comunicación y los procesos de desarrollo digitales permiten la eficacia de equipos de proyecto distribuidos incluso en escala global. Entre las razones que apoyan ubicar en múltiples lugares a los miembros de equipos de desarrollo de producto pueden contarse las siguientes:

- Acceso a información sobre mercados regionales.
- Disponibilidad de experiencia técnica.
- Ubicación de instalaciones de manufactura y proveedores.
- Ahorro en costos mediante salarios bajos.
- Subcontratación para aumentar la capacidad de desarrollo de producto.

Pese a la importancia de aprovechar a los mejores miembros de los equipos sin importar su ubicación, las empresas que aplican un desarrollo de producto distribuido globalmente enfrentaron muchas dificultades debido a los lazos más débiles entre los miembros separados por grandes distancias. Esto puede provocar una mayor cantidad de iteraciones de diseño y dificultar la coordinación de proyectos, en particular cuando estos equipos son de formación reciente. Por fortuna, las empresas que tienen años de experiencia con equipos globales de proyecto informan que los proyectos distribuidos sí funcionan mejor con el tiempo.

La organización de desarrollo de producto de Tyco

Las principales funciones de desarrollo de producto en Tyco son ingeniería, manufactura, mercadotecnia, ventas, adquisiciones, aseguramiento de calidad, finanzas, legal y administra-

	Organización funcional	Organización matricial: Organización banalmente de proyecto	Organización matricial: Organización preponderantemente de proyecto	Organización de proyecto
Puntos fuertes	Favorece el desarrollo de especialización profunda y experiencia.	La coordinación y la administración de proyectos se asigna explícitamente a un solo gerente de proyectos. Mantiene desarrollo de especialización y experiencia.	Proporciona beneficios de integración y rapidez en la organización de proyectos. Se retiene parte de la especialización de una organización funcional.	Se pueden asignar óptimamente los recursos dentro del equipo de proyectos. Las concesiones entre técnica y mercado se pueden evaluar rápidamente.
Puntos débiles	La coordinación entre diferentes grupos funcionales puede ser lenta y burocrática.	Requiere más gerentes y administradores que una organización que no sea matricial.	Requiere más gerentes y administradores que una organización que no sea matricial.	Los empleados pueden tener dificultad para mantener su capacidad de experiencia funcional de vanguardia.
Ejemplos típicos	Empresas de desarrollo de productos personalizados, en las que el desarrollo comprende ligeras variaciones a un diseño estándar (p. ej., motores especiales, cojinetes, empaques).	Productos derivados en muchas empresas de automóviles, electrónica e industria aeroespacial.	Muchos proyectos recientemente exitosos en empresas de automóviles, electrónica y aeroespacial.	Empresas que inician operaciones. "Equipos líder" y "trabajo sucio" destinados a lograr adelantos. Las empresas compiten en mercados extremadamente dinámicos.
Problemas principales	Cómo integrar funciones diferentes (p. ej., mercadotecnia y diseño) para alcanzar metas de negocios.	Cómo equilibrar funciones y proyectos. Cómo evaluar simultáneamente el desempeño funcional y de proyectos.		Cómo mantener experiencia funcional con el tiempo. Cómo compartir información técnica de un proyecto a otro.

FIGURA 2-9 Características de estructuras organizacionales diferentes.

ción de proyecto (como se enlistan en la figura 2-7). Cada función tiene un gerente que se reporta con el gerente general de la división. Sin embargo, los proyectos de desarrollo de producto están a cargo de gerentes de proyecto, y los recursos para cada proyecto provienen de las áreas funcionales.

En términos de las variantes descritas en las figuras 2-8 y 2-9, el desarrollo de producto en Tyco se aplica sobre todo en los proyectos que reflejan mejor una estructura de organización funcional tradicional. Los líderes de proyecto sólo cuentan con un control indirecto sobre los recursos funcionales asignados a sus equipos. Como ya explicamos, una estructura funcio-

nal suele sacrificar cierta eficiencia del proyecto en aras de un desarrollo más continuo de las habilidades funcionales. Para abordar este problema, Tyco creó una función de administración de proyecto muy eficaz, con líderes de proyecto que conocen el proceso Rally Point y saben coordinar las actividades entre las funciones. En efecto, la elección oragnizacional ha permitido un muy buen desempeño de desarrollo del producto en Tyco, al tiempo que conserva capacidades funcionales muy sólidas.

En años recientes, Tyco creó nuevos centros regionales de ingeniería en lugares de alto crecimiento, como China e India. Los ingenieros en esos centros pueden apoyar proyectos de desarrollo de producto en múltiples unidades de negocios en todo el mundo. Esta organización mejora el desempeño de proyectos al reforzar cualquier equipo de proyecto con recursos técnicos adicionales según sea necesario, lo cual es de particular ayuda en las etapas posteriores del proceso Rally Point.

Resumen

Una empresa debe tomar dos importantes decisiones acerca de la forma en que realiza el desarrollo del producto. Debe definir el proceso de desarrollo del producto y la organización de desarrollo de ese producto.

- El proceso de desarrollo del producto es la secuencia de pasos que una empresa utiliza para concebir, diseñar y comercializar un producto.
- Un proceso de desarrollo bien definido ayuda a asegurar la calidad de un producto, facilita la coordinación entre miembros del equipo, planea el proyecto de desarrollo y mejora continuamente el proceso.
- El proceso genérico presentado en este capítulo incluye seis fases: planeación, desarrollo de concepto, diseño a nivel sistema, diseño de detalles, pruebas y refinamiento, e inicio de producción.
- La fase de desarrollo del concepto requiere total integración de las diferentes funciones del equipo de desarrollo. Este proceso frontal incluye la identificación de las necesidades de clientes, el análisis de productos de la competencia, establecer especificaciones objetivo, la generación de conceptos de producto, seleccionar uno o más conceptos finales, establecer especificaciones finales, probar el(los) concepto(s), efectuar un análisis económico y planear las actividades restantes del proyecto. Los resultados de la fase de desarrollo del concepto se documentan en una bitácora.
- El proceso de desarrollo empleado por una empresa en particular puede diferir un poco con respecto al proceso genérico descrito aquí. El proceso genérico es más apropiado para productos influenciados por el mercado. Otros tipos de productos que pueden requerir variantes del proceso genérico, incluyen productos impulsados por la tecnología, productos de plataforma, productos de proceso intensivo, productos personalizados, productos de alto riesgo, productos de rápida elaboración y sistemas complejos.
- Cualquiera que sea el proceso de desarrollo, las tareas son completadas por individuos que se encuentran en organizaciones; éstas están definidas por relaciones personales entre individuos como consecuencia de rendir informes a su supervisor, por relaciones financieras y/o por la distribución física del lugar de trabajo.
- Las organizaciones funcionales son aquellas en las que los lazos de organización corresponden a las funciones de desarrollo; las de proyecto son aquellas en las que los lazos de

organización corresponden a los proyectos de desarrollo. Dos tipos de organización, híbrida o matricial, son la organización preponderantemente de proyecto y la organización banalmente de proyecto.

- La clásica concesión entre organizaciones funcionales y organizaciones de proyecto es entre experiencia funcional y eficiencia de coordinación.
- Los equipos de desarrollo de producto distribuidos globalmente permiten el acceso a recursos especializados, información de mercado y/o experiencia técnica. Sin embargo, los equipos globales exerimentan mayores costos de coordinación de proyecto.

Referencias y bibliografía

Hoy en día existen numerosas fuentes en internet a través de **www.ulrich-eppinger.net**

Los procesos de desarrollo del producto han sido dominantes en empresas manufactureras durante los últimos 30 años. Cooper describe el moderno proceso punto de control en muchas de sus autorizadas prácticas.

Cooper, Robert G., *Winning at New Products: Accelerating the Process from Idea to Launch*, 3a. ed., Perseus Books, Cambridge, MA, 2001.

El proceso de desarrollo del producto en espiral ha evolucionado principalmente dentro de la industria del software; no obstante, muchos aspectos del desarrollo en espiral pueden aplicarse en la industria de manufactura y otras. McConnell describe el desarrollo en espiral de software, junto con otros procesos empleados para desarrollar productos de software.

McConnell, Steve, *Rapid Development: Taming Wild Software Schedules*, Microsoft Press, Redmond, WA, 1996.

El concepto de organizaciones preponderante y banalmente de proyecto está articulado por Hayes, Wheelwright y Clark. Wheelwright y Clark también examinan la estrategia de un producto, planeación y actividades de desarrollo de tecnología que generalmente preceden al proceso de desarrollo del producto.

Hayes, Robert H., Steven C. Wheelwright y Kim B. Clark, *Dynamic Manufacturing: Creating the Learning Organization*, The Free Press, Nueva York, 1988.

Wheelwright, Steven C. y Kim B. Clark, *Revolutionizing Product Development: Quantum Leaps in Speed, Efficiency, and Quality*, The Free Press, Nueva York, 1992.

Andreasen y Hein dan algunas buenas ideas sobre cómo integrar diferentes funciones en el desarrollo de productos. También muestran varios modelos conceptuales de organizaciones de desarrollo del producto.

Andreasen, M. Myrup y Lars Hein, *Integrated Product Development*, Springer-Verlag, Nueva York, 1987.

Allen da una fuerte evidencia empírica de que la distribución física se puede usar para crear importantes lazos de organización, aunque informales. También examina el uso de organizaciones matriciales para mitigar la debilidad de organizaciones de funciones y de proyecto.

Allen, Thomas J., *Managing the Flow of Technology: Technology Transfer and the Dissemination of Technological Information within the R&D Organization*, MIT Press, Cambridge, MA, 1977.

Un libro de importancia crítica para entender un tema, escrito por Galbraith sobre diseño de organización, contiene mucha información útil que se puede aplicar al desarrollo del producto. Su libro de 1994 es una actualización de su obra anterior.

Galbraith, Jay R., *Designing Complex Organizations*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1973.

Galbraith, Jay R., *Competing with Flexible Lateral Organizations*, 2a. ed., Addison-Wesley, Reading, MA, 1994.

Ejercicios

1. Haga un diagrama de un proceso para planear y cocinar la cena de una familia. ¿Su proceso se parece al proceso genérico de desarrollo del producto? ¿Cocinar una comida es análogo a un proceso influenciado por el mercado, impulsado por tecnología, de plataforma, de proceso intensivo, personalizado, de alto riesgo, de rápida elaboración o un sistema complejo?
2. Defina un proceso para encontrar trabajo. ¿Para qué tipos de trabajo es que un proceso bien definido mejora el rendimiento?
3. ¿Qué tipo de proceso de desarrollo esperaría usted hallar en una compañía establecida que ha tenido éxito en desarrollar unidades residenciales de aire acondicionado? ¿Qué puede decir acerca de una compañía pequeña que está tratando de entrar en el mercado de sillas de ruedas para carreras?
4. Haga un diagrama de la organización (en alguna representación gráfica apropiada) de una empresa de consultoría que desarrolla nuevos productos para clientes proyecto por proyecto. Suponga que los empleados de la empresa representan todas las funciones requeridas para desarrollar un nuevo producto. ¿Esta organización estaría de acuerdo con funciones, con proyectos, o sería híbrida?

Preguntas de análisis

1. ¿Qué papel desempeña la investigación tecnológica básica en el proceso de desarrollo del producto? ¿Cómo modificaría el lector la figura 2-3 para representar mejor las actividades de investigación y desarrollo en el desarrollo del producto?
2. ¿Hay analogía entre una universidad y una organización de desarrollo del producto? ¿Una universidad es una organización de funciones o de proyecto?
3. ¿Cuál es la organización de desarrollo del producto para estudiantes que se ocupan de proyectos como parte de un grupo de desarrollo del producto?
4. ¿Es posible que algunos miembros de una organización para el desarrollo del producto se organizan funcionalmente, mientras que otros se organizan por proyecto? Si es así, ¿qué miembros del equipo serían los más probables candidatos para la organización funcional?

CAPÍTULO TRES

Identificación de oportunidades[1]



Cortesía de Lucky Litter LLC y FroliCat

FIGURA 3-1 Juguete para gatos Bolt de láser, producto original de la marca FroliCat.

[1] Muchas ideas de este capítulo se desarrollaron en colaboración con Christian Terwiesch y se describen con más detalle en el libro *Innovation Tournaments* (Terwiesch y Ulrich, 2009).

La empresa de productos para mascotas FroliCat lanzó dos exitosos juguetes de láser para gatos, uno de los cuales es el *Bolt* (figura 3-1), que consta de un rayo láser de movimientos aleatorios para entretener a los mininos. El equipo gerencial de la empresa, con el deseo de mejorar su éxito inicial, buscó más oportunidades para elaborar nuevos juguetes gatunos. Se interesaban sobre todo en oportunidades para extender su marca a otros tipos de juguetes móviles para gatos. FroliCat era una empresa pequeña, por lo que una inversión en desarrollo de nuevos productos representaba un riesgo financiero sustancial. Como resultado, el equipo esperaba identificar oportunidades que representaran una alta probabilidad de generar productos rentables.

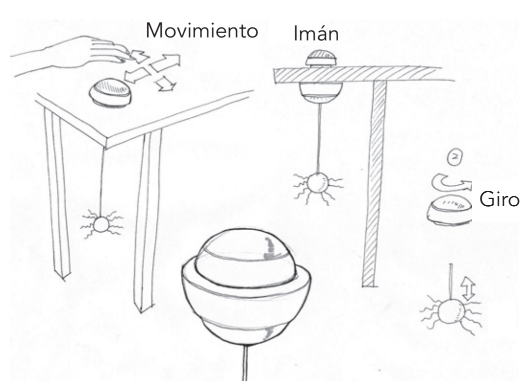
FroliCat se ubicaba en Chicago, pero como todos los productos de FroliCat se fabricaban en China y deseaba adoptar una perspectiva de mercado más global, contrató a la empresa consultora de desarrollo de productos Asentio Design, con sede en Shanghai, para que dirigiera el proceso de identificación de oportunidades.

Este capítulo ofrece una base conceptual para identificar oportunidades y articula un proceso de seis pasos, que implica generar una gran cantidad de opciones y filtrarlas para señalar las que sean excepcionalmente prometedoras. Con el ejemplo de FroliCat ilustramos el proceso de identificación de oportunidades.

¿Qué es una oportunidad?

En el contexto de desarrollo de productos, una oportunidad es la idea de un artículo nuevo. Una oportunidad es la descripción de un producto en forma embrionaria, una necesidad recién percibida, una tecnología descubierta hace poco tiempo o una correspondencia inicial entre una necesidad y una posible solución. En la etapa más temprana del desarrollo la incertidumbre oscurece el futuro, por lo que una oportunidad puede considerarse una hipótesis respecto a la forma de crear valor. Para una empresa de productos para el consumidor, como Procter & Gamble, una oportunidad sería un nuevo tipo de limpiador sugerido por un cliente; para una compañía de materiales como 3M, sería un polímero novedoso con propiedades inusuales. Algunas oportunidades al final devienen en nuevos productos, mientras que otras no llegan a merecer mayor desarrollo.

La oportunidad para un producto nuevo suele articularse en menos de una página de información, a menudo con un título descriptivo, una explicación de la idea y, en ocasiones, el bosquejo de un posible concepto del producto. La figura 3-2 muestra la oportunidad que FroliCat decidió seguir cuando ésta se articuló por primera vez tras una sesión de lluvia de ideas con miembros del equipo. La oportunidad era un juguete interactivo para gatos que constaba de un objeto giratorio que colgaba de la parte inferior de una mesa, el cual se movería a mano desde arriba. Éste es un ejemplo de una oportunidad que incluye un posible concepto de solución, habitual en las acciones centradas en identificar oportunidades de productos nuevos en una categoría bien definida, como los juguetes gatunos.



Cortesía de Lucky Litter LLC y Future Life Labs

FIGURA 3-2 Oportunidad de "la bola giratoria" que al final eligió el equipo de FroliCat, tal como se registró por primera vez en un dibujo. Es un ejemplo de una oportunidad que incluye un concepto de solución potencial.

Tipos de oportunidades

Si bien hay muchas maneras de categorizar oportunidades, dos dimensiones son en especial útiles. A saber, 1) el grado al que el equipo conoce la probable solución y 2) hasta qué punto percibe la necesidad que la solución aborda. Para productos basados en tecnología, estas dimensiones también pueden considerarse conocimiento de la tecnología y conocimiento del mercado. En la figura 3-3 se ilustran ambas dimensiones.

Como el riesgo de fracaso aumenta conforme las oportunidades se desvían de lo que el equipo ya conoce bien, dividimos el paisaje de las oportunidades en categorías a partir del "horizonte" de incertidumbre que enfrenta el equipo. Las oportunidades *Horizonte 1* son en gran medida mejoras, extensiones, variantes y reducciones de costo de productos existentes en mercados existentes. Son oportunidades de riesgo relativamente bajo. Las oportunidades *Horizonte 2* se internan en territorios menos conocidos en una o ambas de las dimensiones del mercado o de la tecnología. Las oportunidades *Horizonte 3* representan esfuerzos por explotar oportunidades en cierta medida nuevas en el mundo, y entrañan el nivel más alto de incertidumbre.

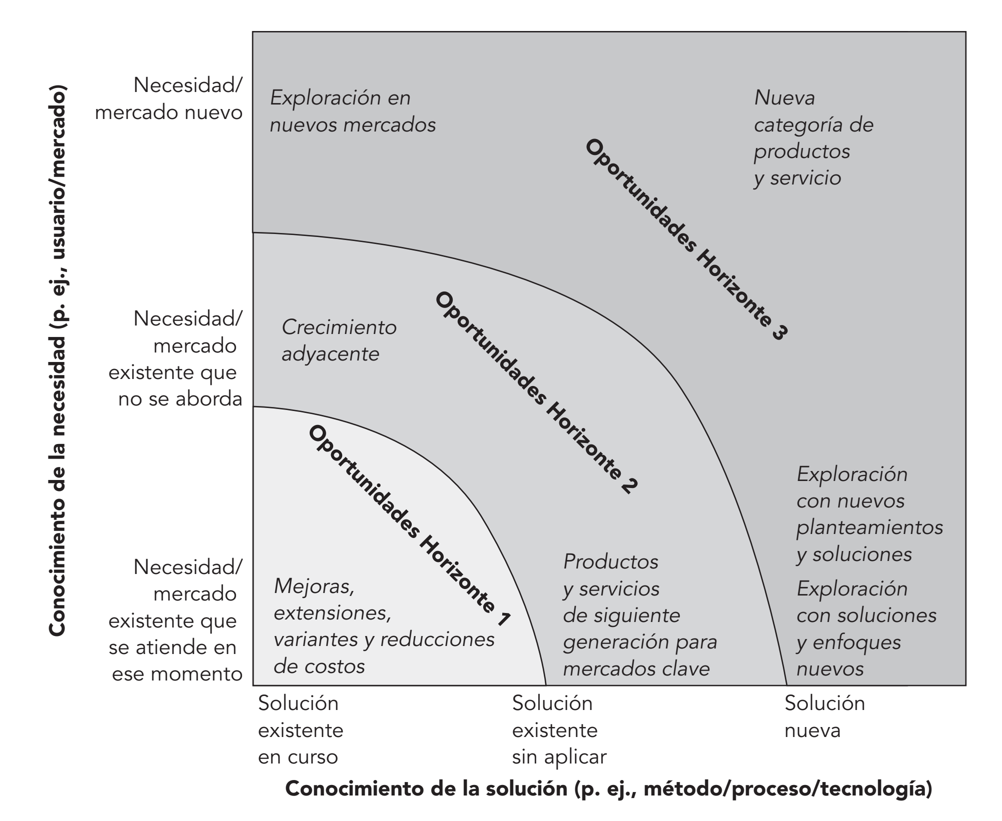


FIGURA 3-3 Tipos de oportunidades. Los horizontes 1, 2 y 3 representan los niveles crecientes del riesgo que reflejan diversos tipos de incertidumbre.

Fuente: Terwiesch y Ulrich (2009).

Por la necesidad de lanzar un producto antes de un año, el equipo de FroliCat evitó de manera explícita las oportunidades Horizonte 3. El equipo deseaba aprovechar su éxito inicial con el juguete gatuno *Bolt*, por lo que se centró en sus clientes existentes y en las necesidades que ya había abordado. Buscó una solución de siguiente generación para la necesidad existente de entrenar gatos, y por eso se dedicó a las oportunidades Horizonte 2.

Estructura de torneo de la identificación de oportunidades

El valor de las oportunidades es muy variable; sin embargo, alberga gran incertidumbre. Por lo tanto, es útil identificar un conjunto de oportunidades y después elegir un subconjunto para su desarrollo posterior, de las cuales sólo unas cuantas llegarán a buen puerto. Este proceso puede verse como un torneo de innovación en el que sólo las mejores ideas triunfan. Casi siempre se consideran docenas, cientos o hasta miles de oportunidades por cada éxito comercial. Un proceso de filtrado selecciona un subconjunto para su desarrollo ulterior y de allí toma una o más oportunidades "campeonas" para su lanzamiento como acciones completas de desarrollo de producto. La figura 3-4 ilustra esta estructura de torneo.

El proceso de identificación de oportunidades en forma de torneo de innovación precede al proceso de desarrollo de producto, como se ve en la figura 3-4. Si bien tanto el proceso de identificación de oportunidades como el de desarrollo de producto constan de pasos de desarrollo y de selección, las metas generales de ambas actividades son muy distintas. En la identificación de oportunidades, la meta es generar una cantidad considerable de oportu-

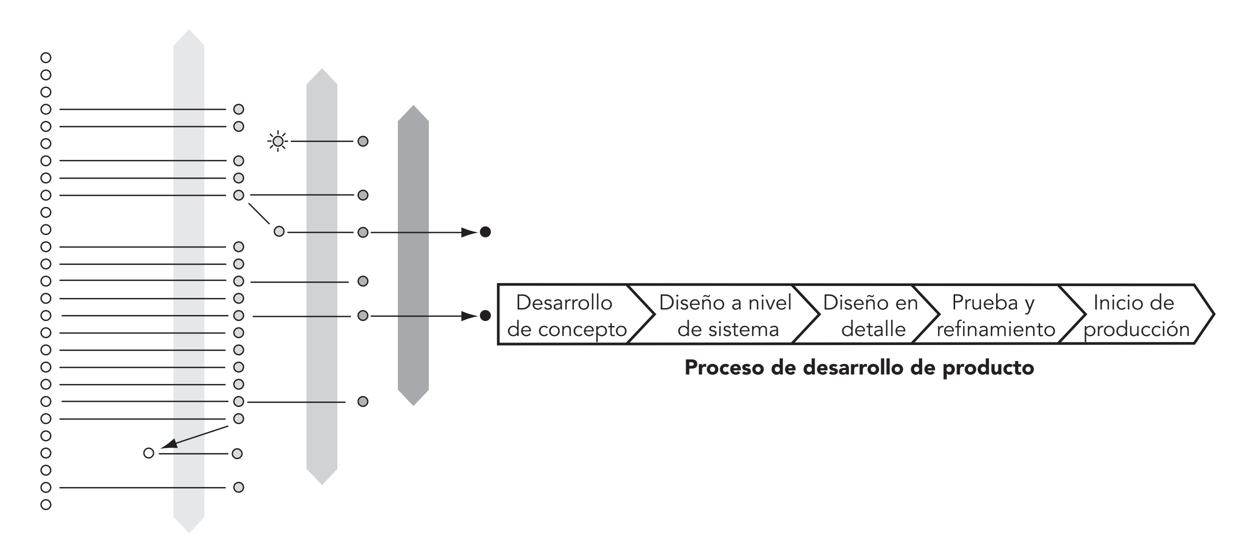


FIGURA 3-4 Estructura de torneo del proceso de identificación de oportunidades. El torneo de oportunidades alimenta al proceso de desarrollo de producto con oportunidades excepcionales.

Fuente: Terwiesch y Ulrich (2009).

nidades y descartar con eficiencia las que no merecen una mayor inversión. En el proceso de desarrollo de producto, la meta es tomar la oportunidad articulada en la declaración de misión y hacer todo lo posible para garantizar que se convierta en el mejor producto que pueda ser.

Si bien la identificación de oportunidades y el desarrollo de producto pueden verse como actividades separadas, sin duda se superponen en cierto sentido. Por ejemplo, en un negocio de productos para consumidores como FroliCat, los conceptos preliminares del producto casi siempre se generan y exploran con prototipos durante el proceso de identificación de oportunidades, antes de que comience un proceso formal de desarrollo de producto. Sin embargo, estas actividades exploratorias suelen efectuarse con varias oportunidades alternas, de las cuales sólo la más prometedora avanza a un diseño y un desarrollo de producto más detallados. La figura 3-5 ilustra la estructura de torneo de la identificación de oportunidades en FroliCat, a partir de 50 oportunidades hasta llegar a una elegida para el desarrollo completo del producto.

Torneos eficaces de oportunidades

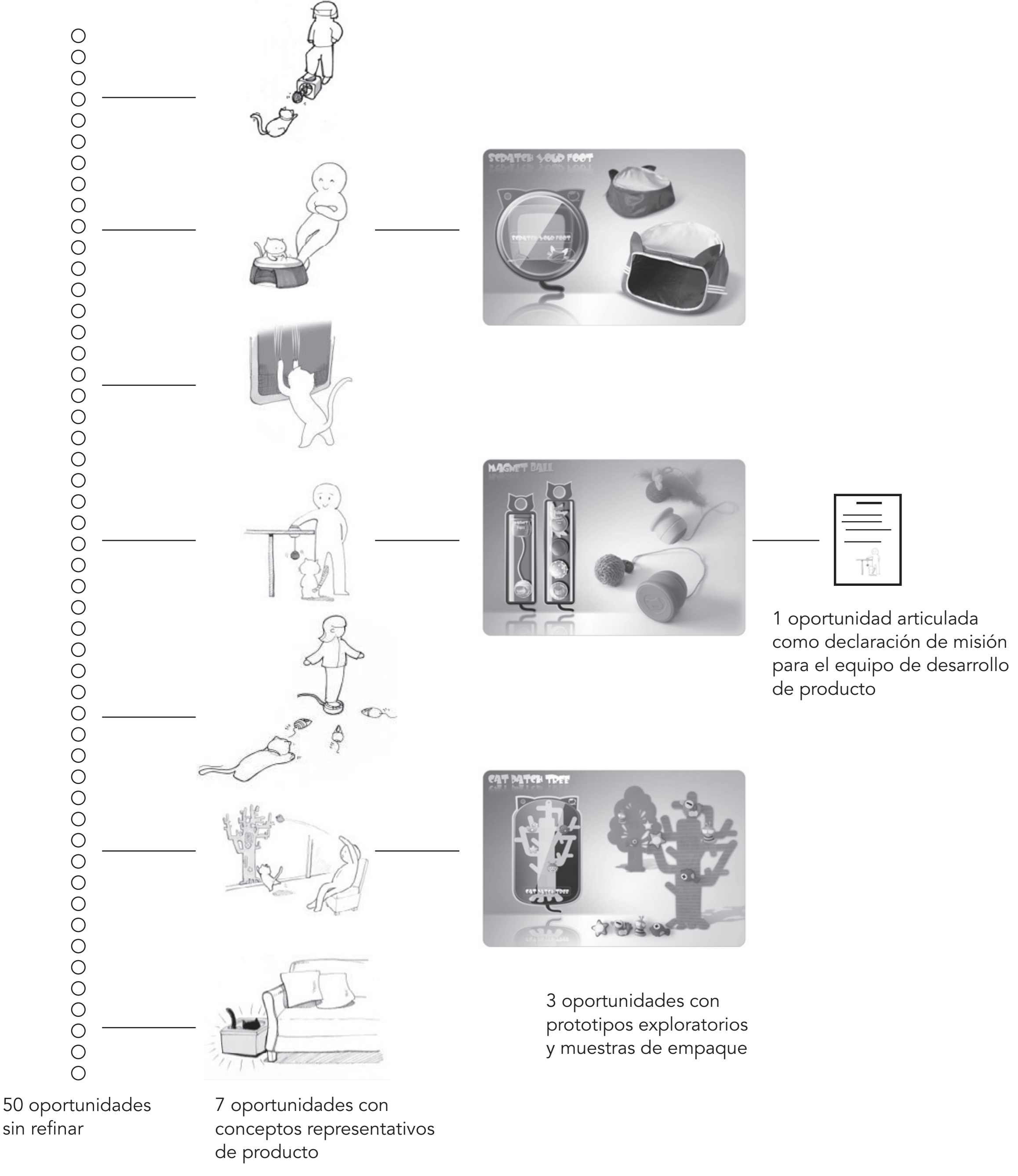
En vista de que las oportunidades son escasas, ¿cómo efectuar un torneo de oportunidades para que aumente la cantidad de oportunidades excelentes identificadas? A continuación se presentan tres formas básicas:

1. **Generar una gran cantidad de oportunidades.** Si se producen más oportunidades, se verán más del tipo excepcional. La lógica es sencilla: en promedio, si se ve a una persona de 2.13 metros de estatura por cada 100 000 personas, habrá dos en 200 000. Por lo tanto, crear más oportunidades (sin sacrificar su calidad promedio) es una forma clave de hallar las excepcionales.
2. **Buscar una calidad alta en las oportunidades generadas.** Adoptar mejores métodos para generar oportunidades y explorar mejores fuentes de oportunidades incrementa la calidad promedio de las oportunidades por considerar, lo cual aumenta también la calidad de las *mejores* ideas que ganen el torneo.
3. **Crear una elevada variación en la calidad de las oportunidades.** Ésta es una implicación directa, aunque no inmediatamente obvia, de la estadística. Al mantener constantes la calidad promedio y la cantidad de oportunidades, se generarán más del tipo excepcional a partir de un proceso que presente una mayor variedad; es decir, si es menos sólida la calidad de su resultado. La búsqueda de variabilidad contradice los planteamientos normales de mejora del proceso, pero es justo lo que se desea al crear oportunidades. Generar ideas descabelladas y nociones temerarias aumenta la probabilidad de que al menos una de las oportunidades sea excepcionalmente buena.

Proceso de identificación de oportunidades

Dividimos el proceso de identificación de oportunidades en los seis pasos siguientes:

1. Establecer un compromiso de innovación.
2. Generar y percibir muchas oportunidades.
3. Filtrar oportunidades.



Imágenes por cortesía de Lucky Litter LLC y Future Life Labs

FIGURA 3-5 Estructura de torneo general del proceso de identificación de oportunidades en FroliCat. A la larga se filtraron y exploraron 50 oportunidades, de donde surgió la oportunidad de la “bola giratoria” que se desarrolló como producto lanzado al mercado.

4. Desarrollar oportunidades prometedoras.
5. Seleccionar oportunidades excepcionales.
6. Reflexionar sobre los resultados y el proceso.

Cada paso es el tema de una sección del presente capítulo.

Paso 1. Establecer un estatuto

Las empresas crean productos nuevos para alcanzar metas tales como mayores ingresos de clientes existentes, cubrir un vacío en una línea de productos o entrar en nuevos segmentos de mercado. Los empresarios que fundan compañías también tienen metas como crear un producto nuevo relacionado con un área de interés personal. El *estatuto de innovación* articula estas metas y establece las condiciones de frontera para un proceso de innovación. Los estatutos son muy parecidos (aunque un poco más amplios) a la declaración de misión de un producto nuevo. (Véase el capítulo 4, Planeación del producto.)

Por ejemplo, el estatuto de las acciones en Frolicat fue:

> *Crear un producto físico en la categoría de juguetes para gato que lancemos al mercado en un año por conducto de nuestro canal existente de ventas al menudeo.*

Las principales restricciones en este estatuto fueron el acento en bienes físicos en lugar de software o servicios, centrarse en la categoría de juguetes para gato, preferir oportunidades que no requiriesen grandes inversiones de tiempo y el deseo de aprovechar las relaciones vigentes de la empresa con los distribuidores.

El estatuto requiere resolver una tensión entre dejar el problema de innovación sin límites, por una parte, y especificar una dirección con probabilidad de alcanzar las metas del equipo y la empresa. Al especificar un estatuto estrecho, el equipo no desperdicia energía en la generación de oportunidades en áreas con poca probabilidad de fructificar. Por otro lado, en ocasiones es difícil elegir por adelantado, y de forma abstracta, las oportunidades que valen la pena.

Al igual que en el estatuto de la misión para un nuevo producto, recomendamos que el compromiso de innovación sea amplio, quizá que exceda un poco la comodidad del equipo al respecto. Generar ideas no es caro y es fácil estrechar la concentración más adelante. El beneficio de permitir un enfoque amplio es que las oportunidades que de otro modo no se habrían considerado pondrán a prueba las suposiciones del equipo sobre la clase de oportunidades que debe buscar.

Paso 2. Generar y percibir muchas oportunidades

A partir de una encuesta entre empresas de muchas industrias, cerca de la mitad de las oportunidades de innovación se genera al interior de dichas empresas, y casi la mitad proviene de clientes y otras fuentes externas (Terwiesch y Ulrich, 2009). En la figura 3-6 se muestra la distribución de fuentes de oportunidades.

Por lo tanto, recomendamos que el equipo se centre de manera explícita en las fuentes tanto internas como externas de oportunidades. De ordinario, el equipo querrá identificar docenas, si no cientos, de oportunidades sin refinar. Por fortuna, esta intimidante tarea se facilita en gran medida con la aplicación de algunas técnicas estructuradas que esbozamos a continuación.

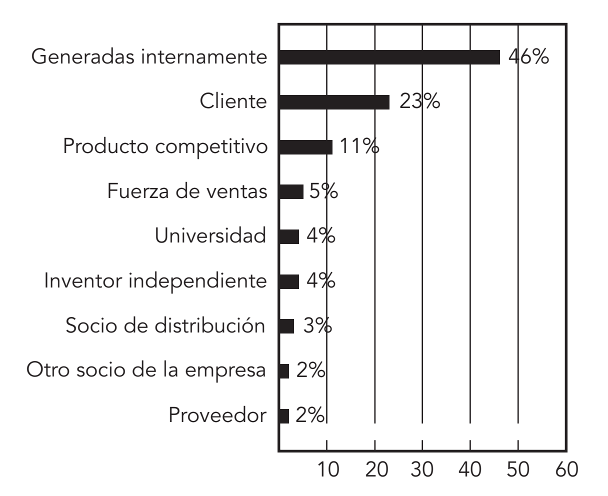


FIGURA 3-6 Distribución de fuentes de oportunidades en innovación.

Fuente: Terwiesch y Ulrich (2009).

Técnicas para generar oportunidades

Para ciertas personas creativas no hay nada más divertido que pensar en nuevas ideas. Sin embargo, observamos que la mayoría de la gente sufre un poco cuando se le pide tan sólo generar algunas oportunidades prometedoras. Para estas personas el problema de idear algo nuevo es demasiado abstracto, carente de estructura y con demasiados grados de libertad. A continuación se presentan siete técnicas básicas para estimular la identificación de oportunidades. La mayoría funciona bien en escenarios tanto empresariales como corporativos.

Seguir una pasión personal

Elabore una lista de lo que le apasione —actividades que no lo dejan dormir de la emoción— y después considere cómo las nuevas tecnologías, tendencias y modelos de negocio pueden influir en ellas. O identifique necesidades sin satisfacer que usted tenga respecto de un interés personal. Un entusiasta ciclista a quien conocemos trabaja en un sistema de aportación de nutrientes para usarlo junto con paquetes ya existentes de hidratación (como CamelBak), que tiene aplicaciones militares y para una amplia variedad de deportes (figura 3-7). Identificó la oportunidad mientras reflexionaba sobre su deseo de ajustar la cantidad de azúcar y electrolitos en las bebidas de su paquete de hidratación.



FIGURA 3-7 Sistema de aportación de nutrientes en prueba de uso a cargo de su inventor, Matt Kressy (bolsa de nutrientes, tubos y válvula en su hombro derecho).

Elaborar listas de fallas

Los innovadores exitosos suelen estar insatisfechos con el mundo que les rodea. Observan necesidades presentes de los usuarios, incluso de ellos mismos. Enliste (o fotografíe) toda molestia o frustración que encuentre en un periodo de días o semanas y después elija las más universales o irritantes, y piense en soluciones. Todo problema es una oportunidad.

Una molestia que dé origen a la oportunidad no tiene que ser sólo de usted. En cambio, puede hallarla en quejas de clientes o investigación de mercado. Una manera muy buena de entender las molestias ajenas es adentrarse en el mundo de quienes usan sus productos o servicios.

Sacar oportunidades de las capacidades

Abundan las teorías de ventajas competitivas, pero la mayoría surge de la idea de que las empresas obtienen ganancias superiores al promedio cuando explotan *recursos únicos.* Los recursos, término muy general, abarcan *capacidades*, *capacidades básicas* y *ventaja competitiva.* Para ofrecer ventaja, un recurso debe ser:

- **Valioso.** Para ser valioso, un recurso debe permitir a una empresa lograr un mejor desempeño que los competidores o reducir una debilidad en relación con los competidores.

- **Raro.** Respecto de la competencia, un recurso valioso debe ser poco frecuente.
- **Inimitable.** Para que se conserve el valor y la rareza, un recurso no debe ser fácil de imitar.
- **Insustituible.** Aunque sea valioso, raro e inimitable, un recurso que dé una ventaja no debe ser fácil de sustituir.

Con esta perspectiva, abreviada VRII, se definen objetivos al articular primero un inventario de recursos para usarlo luego como lente de generación de oportunidades.

Por ejemplo, la perspectiva VRII de Apple Computer puede incluir la excelencia del diseño industrial, una marca líder y una base de clientes leal. Cada uno de estos recursos guía el proceso de creación de oportunidades al reformularlas como retos. Por ejemplo: ¿en qué categorías de producto o servicio puede desplegarse la marca Apple con ventaja?, ¿qué otros productos o servicios puede Apple ofrecer a su base de clientes?

Estudio de clientes

Las oportunidades se identifican asimismo al estudiar a los clientes de un segmento de mercado determinado. Estos estudios (también llamados *antropología del usuario* o *etnografía del consumidor*) permiten conocer las necesidades reales del cliente mejor que mediante encuestas.

Considere la industria de las bicicletas. Shimano, fabricante de piezas para bicicletas como pedales y frenos, encargó hace poco un estudio de antropología del usuario para entender por qué no hay más gente en Estados Unidos que ande en bici. El planteamiento tradicional de este problema habría sido elaborar una encuesta o un conjunto de grupos focales, preguntar a los clientes si andan en bicicleta muy seguido y qué es lo que más les gusta de sus bicis. Lo más probable es que la mayoría de los estadounidenses diría que andan en bici de manera periódica (lo cual para algunos significaría una vez al año) y que les gustan las bicis ligeras con muchas velocidades. Después de todo, ésos son los atributos que destacan casi todas las tiendas de bicicletas.

Por desgracia, lo que las personas informan a los investigadores y lo que de verdad hacen difiere de manera sustancial. Al dedicar muchas horas a observar a ciclistas potenciales, inclusive cuando no estaban pedaleando, los investigadores de Shimano encontraron que muchos consumidores querían bicis sencillas en lo técnico, que fuese fácil andar en ellas, así como guardarlas y transportarlas, atributos que no se destacan en la competencia vigente entre fabricantes de bicicletas, quienes tienden a subrayar las necesidades de los partidarios del ciclismo.

Así, la antropología del usuario contribuyó a que Shimano identificase un conjunto de *necesidades latentes*. (En el capítulo 5, Identificación de las necesidades del cliente, se describen estas necesidades latentes.) Cuando se articula una necesidad latente, deviene un objetivo en el proceso de identificación de oportunidades. Una vez identificados los factores que mantienen a muchos clientes potenciales en sus automóviles en lugar de andar en bicicleta, tuvieron la oportunidad de redefinir la categoría del producto.

En el caso de Shimano, estas acciones llevaron a la creación de bicis dirigidas específicamente al ciclista recreativo, es decir, personas que rentarían una bicicleta durante su viaje familiar anual a la playa pero que de otra forma no la usarían de forma cotidiana. Shimano desarrolló una línea de componentes con la marca Coasting y los fabricantes los incorporaron a sus vehículos. Un ejemplo es la Trek Lime que se ve en la figura 3-8.

Considerar implicaciones de tendencias

Los cambios en las tecnologías, demografía o normas sociales a menudo crean oportunidades de innovación. Por ejemplo, el servicio telefónico móvil tan extendido permite ofrecer una



Cortesía de Trek

FIGURA 3-8 Bicicleta Trek Lime que incorpora el grupo de componentes Shimano Coasting.

amplia variedad de servicios de información. Un caso es la creciente población hispanohablante en Estados Unidos, que da pie a nuevas clases de medios en español. Como cada vez hay más conciencia ambiental, hay un mercado para productos y servicios "verdes". De nuevo, el medio de exploración es sencillo: se enlistan las tendencias sociales, ambientales, tecnológicas o económicas y después se imaginan posibles oportunidades de innovación para cada una.

Imitar, pero mejor

Cuando otra empresa innova con éxito, de hecho hace pública la ubicación de una mina de oro. Esta información se explota al considerar otras soluciones que aborden las mismas necesidades u otras necesidades que se traten con la misma solución. En la figura 3-9 se ven ejemplos del enfoque de imitar mejor. Éstas son algunas fuentes de oportunidades para imitar:

- ***Medios y actividades de mercadotecnia de otras empresas.*** Estudie los medios y vigile las actividades de otras empresas en ferias de productos y solicitudes de patentes, por ejemplo. Articule la necesidad y solución asociadas a toda innovación que identifique. Genere otros planteamientos que satisfagan esa necesidad u otras necesidades que se aborden con el nuevo planteamiento.
- ***Haga que las materias primas ya no sean materias primas.*** A menudo, los precios de la competencia caracterizan una categoría de producto, y las ofertas mismas son poco más que objetos. Recuerde el café antes de Starbucks o las mentas antes de Altoids. Una situación así crea una oportunidad de innovar. Para emprender esta clase de innovación enliste todos los productos o servicios baratos e indiferenciados en una categoría; luego considere la posibilidad de versiones de lujo.
- ***Dirija una innovación "hacia la parte inferior del mercado".*** Cuatro empresarios con experiencia en los negocios de juguetes y caramelos inventaron el Crest SpinBrush en 1998. En su opinión, su ventaja competitiva era crear artículos pequeños, baratos y de pilas, como hicieron con el Spin Pop, una paleta que giraba en virtud de un motorcito. Les sorprendió la variedad de cepillos de dientes eléctricos a la venta, muchos con precios de hasta 100 dólares, no obstante que no tenían mucha más complejidad que sus paletas giratorias. Decidieron "crear un cepillo de dientes eléctrico de seis dólares". Su SpinBrush fue el de mejores ventas de todas clases. Para seguir su ejemplo, enliste los mejores productos o servicios en una categoría y después imagine versiones mucho más baratas que ofrezcan muchos de los mismos beneficios.
- ***Importe innovaciones geográficamente aisladas.*** A veces las innovaciones están en regiones aisladas, sobre todo si las introducen empresas pequeñas. Trasladar la innovación de una región a otra es una fuente de innovación. La bebida energética Red Bull comenzó como producto para los camioneros tailandeses. El fundador de Starbucks, Howard Schultz, creó la cadena tras visitar Milán y quedar impresionado por su cultura del café y bebidas tipo exprés.



© Stockbyte/PunchStock



SMC Photos



© Ingram Publishing/Alamy



The McGraw-Hill Companies, Inc./Jill Braaten, fotógrafa



SMC Photos

Producto existente



SMC Photos

Producto "imitación pero mejor"

FIGURA 3-9 Ejemplos del enfoque de "imitar pero mejor": SpinBrush, Starbucks, Altoids.

Aproveche sus fuentes

Recuerde que casi la mitad de las oportunidades de productos surgen de fuentes al interior de la empresa y otro tanto, de fuentes externas. Como resultado, es útil cultivar las fuentes externas de ideas. Entre éstas se encuentran las siguientes:

- ***Usuarios líderes.*** Las empresas tienen amplios incentivos para innovar. Después de todo, la innovación genera nuevas fuentes de efectivo. Pero los usuarios líderes y los inventores independientes pueden tener incentivos incluso más fuertes. Los usuarios líderes son personas o empresas con necesidades avanzadas que tal vez los productos o servicios existentes no satisfagan. Los usuarios líderes deben tolerar sus necesidades insatisfechas o innovar ellos mismos para abordarlas. Muchos aparatos y procedimientos en el área de la salud son inventos de médicos. Por ejemplo, considere a la doctora Lillian Aronson, veterinaria en la Universidad de Pensilvania, que efectúa trasplantes de hígado en felinos. Su procedimiento es relativamente nuevo, el mercado es pequeño y hay pocas herramientas quirúrgicas adecuadas. Así, la doctora Aronson tuvo que elegir entre instrumentos poco adecuados o inventarlos ella misma. Si inventa un instrumento útil, crea una oportunidad para mayores innovaciones provenientes de una empresa establecida.
- ***Representación en redes sociales.*** Otra forma de agudizar su percepción es asegurarse de estar presente en las redes sociales adecuadas. Las instituciones sociales de todas clases facilitan la comunicación entre innovadores. Quizá algunas de estas instituciones no tengan relación con el ámbito profesional. Las ligas de críquet y softball en Silicon Valley son muy conocidas por ser semilleros de actividad empresarial y han desempeñado un papel fundamental al facilitar el intercambio de ideas que generan oportunidades para nuevos productos. Las comunidades y los foros de discusión de redes sociales en internet también pueden fomentar la comunicación entre innovadores.
- ***Universidades y laboratorios gubernamentales.*** Estudiantes, personal de investigación y profesores piensan todo el tiempo en soluciones novedosas para problemas cotidianos. En muchos casos, las soluciones identificadas en universidades y laboratorios gubernamentales son comercializables por terceros, como empresas ya existentes o nuevas. Los departamentos de investigación universitarios y los laboratorios gubernamentales tienen organizaciones de transferencia de tecnología que facilitan este proceso.
- ***Presentar ideas en internet.*** Las oportunidades pueden provenir de clientes y no clientes por conducto de sitios de internet. Por ejemplo, la empresa de computadoras Dell opera un sitio de internet, IdeaStorm, para solicitar oportunidades de innovación a los clientes.

Paso 3. Filtrar oportunidades

La meta de filtrar oportunidades es tan sólo eliminar las que tengan poca probabilidad de resultar en la creación de valor y centrar la atención en las que merezcan más investigación. El propósito no es elegir sólo la mejor oportunidad. Con muchas oportunidades por filtrar, el proceso debe ser relativamente eficiente aun en demérito de una precisión perfecta.

En este paso, un criterio muy eficaz de filtrado es el juicio holístico de un grupo de individuos que decida si la oportunidad merece o no unos cuantos días o semanas de investigación adicional. La aplicación separada de múltiples criterios de filtrado (p. ej., necesidad comercial, factibilidad tecnológica, correspondencia con la estrategia) tiende a entorpecer el proceso con discusiones innecesarias. Recuerde que, en casi todos los escenarios, tendrá docenas o hasta cientos de oportunidades rudimentarias por considerar.

Dos métodos son enfoques eficaces para filtrar: encuestas por internet y talleres con multivotos (votación múltiple). Ambos métodos recurren a juicios independientes de un grupo de personas. Por lo general, este grupo abarca miembros de la empresa, aunque puede ser un equipo empresarial extendido, o incluso amigos y familiares con experiencia pertinente. Desde luego, el grupo que desempeña la evaluación debe contar con experiencia pertinente, aunque varíen su tipo y profundidad.

Una conexión dispuesta en internet asegura que los participantes no conozcan al autor de cada idea, por lo que sus votos se basarán en la calidad de la oportunidad y no en su opinión sobre el autor. Hay muchas herramientas de encuestas por internet, o se puede aplicar una diseñada específicamente para el propósito de evaluar oportunidades de innovación. Una encuesta de filtrado por internet puede ser tan sencilla como indicar un voto de sí o no, o si la oportunidad merece o no más inversión. Otra forma es presentar una escala del 1 al 10, que sería útil si se cuenta con un grupo más o menos pequeño de personas que voten. En nuestra experiencia, se necesitan al menos seis juicios independientes, de preferencia más de 10, para tomar decisiones confiables.

También se puede organizar un taller en persona para evaluar oportunidades. En un formato que aplicamos con frecuencia, cada participante presenta una o más oportunidades al grupo. Estas presentaciones deben contar con una sola diapositiva, página u hoja de rotafolios. Recomendamos mucho que estas presentaciones se limiten a casi un minuto y que cada presentador se adhiera al mismo límite de tiempo y formato. Pueden repartirse resúmenes de cada oportunidad antes del taller.

Después de las presentaciones, se pide a un grupo de clasificadores que *multivoten* sobre las oportunidades. Con el multivoto se exhiben oportunidades en páginas u hojas de rotafolios colgadas en las paredes del cuarto donde se efectúe el taller. Se reparten "post-its" a los clasificadores (u otro tipo de material para escribir con pegamento) para registrar sus votos. Sólo pegan sus papeles a las oportunidades que apoyan. (Otra forma de aplicar el multivoto en el proceso de desarrollo de producto es al elegir los conceptos más prometedores. Véase el capítulo 8, Selección del concepto.)

Recomendamos numerar las oportunidades y pedir a los votantes que anoten el número de la oportunidad por la cual votan en cada uno de sus papeles. Lo deben hacer en silencio y en grupo antes de colocar los papeles en las hojas. Luego todos coloocan sus papeles al mismo tiempo. Con este método se evita que en los votos influyan las decisiones de los demás votantes.

Los talleres funcionan bien para revisar hasta 50 oportunidades, más o menos. Para más de 50 sugerimos primero una ronda de filtrado por internet.

Aparte del método de votar que se elija, sugerimos que considere avanzar no sólo en las ideas que reciban más votos, sino también las que no tengan más que unos cuantos seguidores entusiastas. Las opiniones sólidas a menudo señalan ideas excepcionales. Recuerde que su meta es eliminar con eficiencia las oportunidades que no merecen más inversión, pero también evitar desechar una idea con gran potencial.

El equipo de FroliCat desarrolló 50 oportunidades sin refinar como resultado del esfuerzo de seis individuos que trabajaron de forma independiente y en sesiones de lluvia de ideas. Los miembros del equipo identificaron siete oportunidades que, en su opinión, merecían más desarrollo al agregar los juicios individuales de los miembros del equipo, inclusive diseñadores de Asentio y gerentes de mercadotecnia de FroliCat.

Paso 4. Desarrollar oportunidades prometedoras

Pocas veces es sensato apostar a una sola oportunidad. Demasiada incertidumbre opaca las perspectivas de éxito. Tras filtrar oportunidades, el equipo debe invertir niveles modestos de recursos al desarrollo de unas cuantas. Al menos, una oportunidad que pase el filtrado inicial merece una búsqueda en internet de soluciones existentes y un análisis informal con unos cuantos clientes potenciales.

Algunas tareas adicionales que a menudo vale la pena efectuar incluyen: entrevistas con clientes, prueba de productos existentes, generación de conceptos, prototipos rápidos y estimativos de dimensiones de mercado y tasas de crecimiento. Se deben dedicar de unos cuantos días a semanas a cada una de varias oportunidades prometedoras.

Al desarrollar oportunidades prometedoras, la meta es resolver la mayor incertidumbre en torno a cada una con el menor costo de tiempo y dinero. Una forma de estructurar este paso es enlistar las principales incertidumbres respecto del éxito de cada oportunidad, las actividades que se pueden emprender para resolverlas y el costo aproximado de cada actividad. Después se efectúan las actividades que resuelvan la principal incertidumbre con el menor costo. Por ejemplo, una oportunidad basada en un concepto ingenioso quizá no sea tan valiosa si es poco probable patentarla. Una búsqueda superficial de patentes no requiere más de un par de horas, por lo que es una actividad que se debe efectuar en las etapas tempranas del proceso de desarrollo de la oportunidad.

El equipo de FroliCat exploró las siete oportunidades de la figura 3-5 y seleccionó tres para un desarrollo posterior. Las tareas de desarrollo subsecuentes fueron elaborar prototipos funcionales y probarlos con gatos y dueños de gatos, crear conceptos de empaque y probar su atractivo para los consumidores, además de completar análisis financieros con base en los costos de manufactura y puntos de precio probables.

Paso 5. Seleccionar oportunidades excepcionales

Una vez desarrollado un puñado de oportunidades con inversiones modestas de recursos, debe disiparse la suficiente incertidumbre a fin de elegir las pocas oportunidades excepcionales que merezcan una inversión significativa en desarrollo del producto.

En el capítulo 8, Selección del concepto, se describe cómo elegir un concepto de diseño al comparar opciones según criterios de selección. El mismo método básico sirve para elegir oportunidades de productos. Un enfoque específico en el interior de empresas establecidas es el método “real-ganar-vale la pena” (RGV) (*Real-Win-Worth-it*), elaborado en su origen por 3M (Day, 2007). El nombre, “real-ganar-vale la pena”, resume las tres preguntas que una empresa debe plantearse al filtrar oportunidades:

- ¿Es *real* la oportunidad? ¿Existe un mercado real para atenderlo con este producto? Los criterios aquí son tamaño del mercado, precio potencial, disponibilidad de tecnología y probabilidad de fabricar el producto en el volumen y costo requeridos.
- ¿Se *gana* con esta oportunidad? ¿Se establece una ventaja competitiva sustentable? ¿La idea es patentable o comercializable? ¿Es más capaz de ejecutarla que sus competidores? Por ejemplo, ¿tiene mejores ingenieros en este campo?
- ¿La oportunidad *vale la pena* financieramente? ¿Cuenta con los recursos neecesarios (financieros y de desarrollo) y confía en que la inversión dará los rendimientos adecuados?

En la figura 3-10 se presentan los criterios RGV aplicados a la oportunidad de la "bola giratoria" en FroliCat. Un análisis como éste, aplicado a cada oportunidad, permite al equipo filtrar las oportunidades hasta las excepcionales. Para FroliCat, el concepto de la bola giratoria era muy atractivo para los compradores potenciales e interesante para los gatos, ofrecía el prospecto de una buena patente y podía desarrollarse y lanzarse con una inversión modesta. Estos factores distinguieron a la oportunidad de las demás.

Este mismo método de selección sirve con otros criterios. Un empresario que comience un nuevo negocio empleará criterios distintos a los de una empresa establecida. Por ejemplo, además de los criterios de "real-ganar-vale la pena", o en lugar de ellos, un empresario puede seleccionar oportunidades con base en la cantidad de capital requerido, el tiempo necesario para llegar al mercado o la pasión y emoción que despierte la oportunidad.

Marco real-ganar-vale la pena (RGV). Ejemplo "juguete para gatos de bola giratoria"

1. ¿Existe un mercado real y un producto real?	
¿Hay necesidad? (¿cuál es la necesidad?, ¿cómo se satisface en la actualidad la necesidad?)	Sí
¿El cliente compra? (tamaño del mercado, proceso de toma de decisión del cliente)	Sí
¿El cliente comprará? (riesgos y beneficios percibidos, expectativas sobre precio y disponibilidad)	Sí
¿Ya hay un concepto viable para un producto? ¿Qué probabilidad tenemos de ser capaces de desarrollar un concepto viable?	Sí
¿El producto es aceptable conforme a normas sociales, legales y ambientales?	Sí
¿El producto es factible? ¿Puede fabricarse? ¿Se dispone de la tecnología? ¿Satisface las necesidades?	Sí
¿Nuestro producto satisfará el mercado? ¿Hay una ventaja en relación con otros productos?	Sí
¿Se produce con costos bajos?	Sí
¿Son aceptables los riesgos que perciba el cliente? ¿Cuáles son los obstáculos para su adopción?	Sí
Respuesta	SÍ
2. ¿Ganamos? ¿Nuestro producto o servicio es competitivo? ¿Tenemos éxito como empresa?	
¿Tenemos una ventaja competitiva? ¿Es sustentable? (desempeño, patentes, barreras para entrar, sustitución, precio)	Sí
¿El momento es el correcto?	Sí
¿Se ajusta a nuestra marca?	Sí
¿Vencerá a nuestra competencia? (¿Cuánto mejorarán?, trayectorias de precios, nuevos participantes)	Sí
¿Tenemos mejores recursos? (ingeniería, finanzas, mercadotecnia, producción; ajuste con competencias básicas)	No
¿Tenemos la administración que puede ganar? (¿experiencia?, ¿correspondencia con la cultura?, ¿comproomiso con esta oportunidad?)	Sí
¿Conocemos el mercado tan bien o mejor que los competidores? (¿comportamiento del cliente?, ¿canales?)	Sí
Respuesta	SÍ
3. ¿Vale la pena hacerlo? ¿El rendimiento es adecuado y aceptable el riesgo?	
¿Ganaremos dinero?	Sí
¿Tenemos los recursos y el efectivo para hacer esto?	Sí
¿Los riesgos son aceptables para nosotros? (¿Qué puede salir mal?, riesgos técnicos contra riesgos de mercado)	Sí
¿Se ajusta a nuestra estrategia? (corresponde a nuestra expectativa de crecimiento, impacto sobre la marca, opciones inherentes)	Sí
Respuesta	SÍ

FIGURA 3-10 Criterios de "real-ganar-vale la pena" aplicados a la oportunidad de la bola giratoria. La lista está disponible en el sitio de internet del libro.

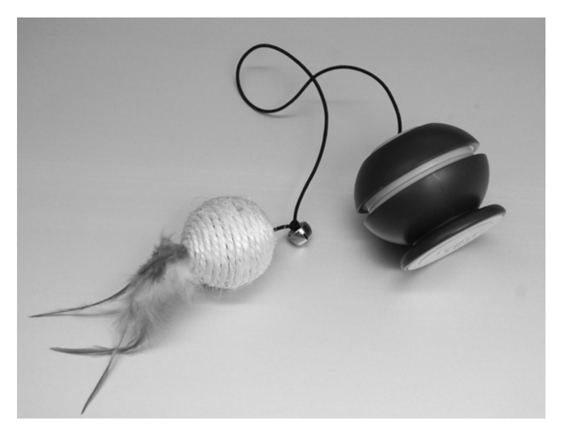


FIGURA 3-11 Producto *Sway*, juguete para gato, que resultó de la oportunidad de la bola giratoria.

Paso 6. Reflexionar sobre los resultados y el proceso

El equipo de FroliCat trabajó sobre la oportunidad de la bola giratoria y desarrolló un producto para la venta (figura 3-11), que se llamó *Sway*. El *Sway* se lanzó con distribuidores importantes, como Amazon. El equipo aguardó con ansias la respuesta del mercado, que sería un indicador básico del éxito de su proceso de identificación de oportunidades. Sin embargo, el éxito comercial no es el único criterio del proceso. Algunas preguntas para reflexionar sobre los resultados y el proceso de la identificación de oportunidades son:

- ¿Cuántas oportunidades identificadas provinieron de fuentes internas y cuántas de externas?
- ¿Consideramos docenas o cientos de oportunidades?
- ¿El estatuto de innovación fue demasiado estrecho?
- ¿Fueron sesgados nuestros criterios de filtrado, o se basaron en gran medida en los mejores estimativos posibles de un probable éxito del producto?
- ¿Las oportunidades resultantes son emocionantes para el equipo?

Resumen

Este capítulo articula un marco conceptual para la identificación de oportunidades como torneo, en el cual se genera una gran cantidad de oportunidades sin refinar y después se filtran y exploran a fin de reducir esas oportunidades a unas cuantas excepcionales.

El proceso de identificación de oportunidades abarca seis pasos:

1. Establecer un estatuto.
2. Generar y percibir muchas oportunidades.
3. Filtrar oportunidades.
4. Desarrollar oportunidades promisorias.
5. Seleccionar oportunidades excepcionales.
6. Reflexionar sobre los resultados y el proceso.

El desempeño del proceso de identificación de oportunidades depende de considerar una gran cantidad de oportunidades de diversas fuentes, aplicar procesos de generación de ideas que resulten en buenas oportunidades y de considerar oportunidades de calidad muy diversa. Al filtrar y desarrollar de manera sistemática un conjunto amplio de oportunidades sin refinar para identificar unas cuantas excepcionales para su desarrollo posterior, se aprovechan mejor los recursos de la empresa.

Referencias y bibliografía

Muchos recursos actuales, como la hoja de cálculo de “Real-Ganar-Vale la pena” y el software en internet para evaluar oportunidades, están disponibles en **www.ulrich-eppinger.net**

En los siguientes libros hay más información sobre identificación de oportunidades.

Kim, W. Chan y Renee Mauborgne, *Blue Ocean Strategy: How to Create Uncontested Market Space and Make Competition Irrelevant*, Harvard Business Press, Boston, 2005.

Nalebuff, Barry, e Ian Ayres, *Why Not? How to Use Everyday Ingenuity to Solve Problems Big and Small*, Harvard Business Press, Boston, 2003.

Terwiesch, Christian y Karl T. Ulrich, *Innovation Tournaments: Creating and Identifying Exceptional Opportunities*, Harvard Business Press, Boston, 2009.

VanGundy analiza los méritos de varios métodos de filtrado.

VanGundy, Arthur B., *Techniques of Structured Problem Solving*, 2a. ed., Van Nostrand Reinhold, Nueva York, 1988.

El método "real-ganar-vale la pena" se describe con más detalle en este artículo de Day.

Day, George S., "Is it Real? Can We Win? Is it Worth Doing?: Managing Risk and Reward in an Innovation Portfolio", *Harvard Business Review*, diciembre de 2007.

Los siguientes estudios ofrecen pruebas teóricas y experimentales para los principios del proceso de identificación de oportunidades.

Girotra, Karan, Christian Terwiesch y Karl Ulrich, "Idea Generation and the Quality of the Best Idea", *Management Science*, vol. 56, núm. 4, 2010, pp. 591-604.

Kornich, Laura J., y Karl T. Ulrich, "Opportunity Spaces in Innovation: Empirical Analysis of Large Samples of Ideas", *Management Science*, vol. 57, núm. 1, enero de 2011, pp. 107-128.

Ejercicios

1. Visite una tienda especializada (p. ej., de artículos deportivos, de productos para cocinar, de electrónica) e identifique un producto o material básico genérico al que pueda despojarse de su carácter "básico" y diferenciársele mediante innovación.
2. Genere 10 oportunidades de innovación a partir de un área de su pasión personal.
3. Identifique los recursos VRII de una empresa basada en productos que usted admire. ¿Qué nuevas oportunidades de productos permitirían esos recursos?

Preguntas de análisis

1. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la votación *anónima* al filtrar oportunidades?
2. ¿Los consumidores serían buenos clasificadores en un proceso de filtrado de oportunidades?
3. ¿Puede usted responder de verdad la pregunta referente a que una oportunidad es *real* (como en los criterios de "real-ganar-vale la pena") antes de desarrollar un concepto de producto?
4. ¿Un garn proceso de identificación de producto podría resultar en un producto que fracasara en el mercado?
5. ¿Cómo difieren los riesgos entre dos tipos de oportunidades Horizonte 2, uno que aborde una necesidad de mercado actual y la otra que emplee una solución actual?

CAPÍTULO CUATRO

Planeación del producto



Cortesía de Xerox

FIGURA 4-1 El proyecto Lakes desarrolló una nueva plataforma para copiadoras, incluyendo este nuevo producto, el Xerox Document Centre 265.

Xerox Corporation es una empresa mundial que ofrece una amplia variedad de productos, servicios y soluciones de negocios relacionados con documentos. Su misión es ser líder en el mercado mundial de máquinas para oficina, proporcionando soluciones de máquinas de este tipo que mejoran la productividad de los negocios. Un elemento clave de la estrategia competitiva de Xerox es explotar la innovación tecnológica en un mercado que cambia con gran rapidez. El cumplimiento de esta estrategia exige la capacidad de seleccionar el conjunto apropiado de proyectos de desarrollo y definir su alcance, en forma tal que sean complementarios. La figura 4-1 es una foto de la Xerox Document Centre 265, un producto que resulta de un proyecto Xerox cuyo nombre clave es Lakes.

El proceso de *planeación del producto* tiene lugar antes de que el proyecto de desarrollo del producto se apruebe de manera formal, antes de que se apliquen recursos importantes y antes de que se forme un equipo de desarrollo más grande. La planeación del producto es una actividad que considera la cartera de proyectos que una organización podría buscar y determina el subconjunto de estos proyectos que realizará en un tiempo determinado. La actividad de planeación del producto garantiza que los proyectos de desarrollo del producto apoyen la estrategia general de negocios de la compañía y da respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Qué proyectos de desarrollo del producto se emprenderán?
- ¿Qué mezcla de productos fundamentalmente nuevos, plataformas y productos derivados deben buscarse?
- ¿Cómo se relacionan entre sí los diversos proyectos para conformar la cartera de productos?
- ¿Cuál será la coordinación en tiempo y secuencia de los proyectos?

Cada uno de los proyectos seleccionados es llevado a cabo por un grupo de desarrollo de productos. El equipo necesita conocer su misión antes de iniciar el desarrollo. Las respuestas a estas preguntas de importancia crítica están incluidas en la declaración de la misión para el equipo:

- ¿Qué segmentos de mercado deben ser considerados al diseñar el producto y desarrollar sus funciones?
- ¿Qué nuevas tecnologías (si las hay) deben incorporarse en el nuevo producto?
- ¿Cuáles son los objetivos y restricciones de manufactura y servicio?
- ¿Cuáles son los objetivos financieros para el proyecto?
- ¿Cuáles son el presupuesto y el marco de tiempo para el proyecto?

Este capítulo explica la forma en que una organización puede maximizar la efectividad de su trabajo de desarrollo de un producto, al considerar primero el conjunto de proyectos potenciales que podría buscar, decidir qué proyectos son más deseables y luego lanzar cada proyecto con una misión enfocada. Presentamos un proceso de planeación de cinco pasos que se inicia con la identificación de oportunidades y que resulta en la declaración de la misión para el equipo del proyecto.

El proceso de planeación del producto

El *plan del producto* identifica la cartera de productos a ser desarrollados por la organización y la coordinación en tiempo para su introducción al mercado. El proceso de planeación considera oportunidades de desarrollo del producto identificadas por muchas fuentes, incluyendo

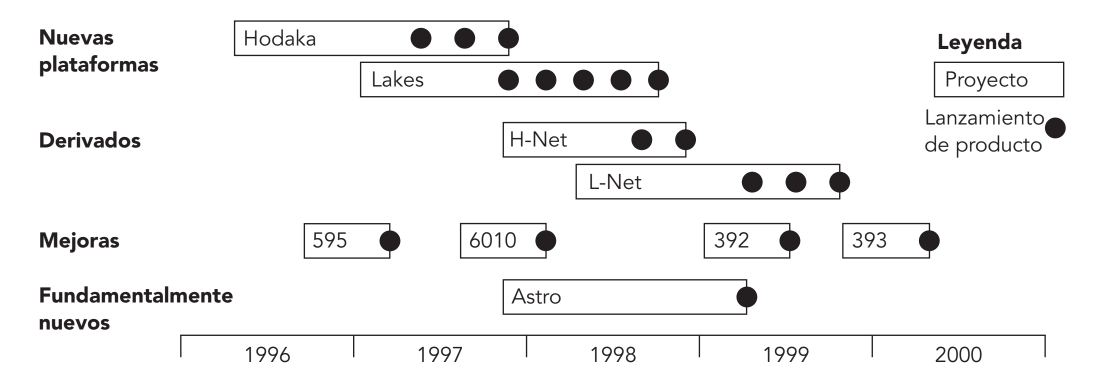


FIGURA 4-2 El plan de un producto identifica la cartera de proyectos a ser realizados por la organización de desarrollo. Este plan divide proyectos en cuatro categorías: nuevas plataformas, derivados de plataformas existentes, mejoras a productos y productos fundamentalmente nuevos.

sugerencias hechas por mercadotecnia, investigación, clientes, grupos actuales de desarrollo de productos y de comparación con productos de la competencia. De entre estas oportunidades se selecciona una cartera de proyectos, se programa en tiempo el proyecto y se asignan recursos. La figura 4-2 es un ejemplo de un plan del producto que presenta productos a ser desarrollados e indica el marco de tiempo para cada uno.

El plan del producto se actualiza regularmente para reflejar cambios en el ambiente de la competencia, cambios en tecnología e información sobre el éxito de productos existentes. Los planes del producto se desarrollan con las metas de la compañía, capacidades, restricciones y ambiente competitivo en mente. Las decisiones de planeación del producto involucran a la alta dirección de la organización y pueden tener lugar sólo anualmente o unas pocas veces al año. Algunas organizaciones tienen un director de planeación que maneja este proceso.

Las organizaciones que no planifican cuidadosamente la cartera de proyectos de desarrollo a seguir resultan acosadas por ineficiencias como las siguientes:

- Cobertura inadecuada de mercados objetivo con productos competitivos.
- Mala programación en tiempo en la introducción de productos al mercado.
- Desajustes entre capacidad de desarrollo agregado y el número de proyectos que se persiguen.
- Deficiente distribución de recursos, con exceso de personal en algunos proyectos y personal insuficiente en otros.
- Iniciación y subsiguiente cancelación de proyectos mal concebidos.
- Cambios frecuentes de los directores de proyectos.

Cuatro tipos de proyectos de desarrollo de productos

Los proyectos de desarrollo de productos se pueden clasificar en:

- ***Nuevas plataformas de productos:*** Este tipo de proyecto comprende un gran esfuerzo de desarrollo para crear una nueva familia de productos basados en una nueva plataforma común. La familia del nuevo producto abordaría mercados y categorías de productos ya conocidos. Un ejemplo de este tipo de proyecto fue el de Xerox Lakes, el cual desarrolló una nueva plataforma de copiadoras digitales.

- ***Derivados de plataformas de producto ya existentes:*** Estos proyectos amplían una plataforma de productos ya existente para satisfacer mejor los mercados conocidos con uno o más productos nuevos. El desarrollo de una nueva copiadora basada en una plataforma de producto óptica ya existente (no digital) es un ejemplo de este tipo de proyecto.
- ***Mejoras incrementales a productos existentes:*** En estos proyectos sólo se agregan o modifican algunas funciones de productos existentes para mantener actualizada y competitiva la línea de productos. Un ligero cambio para corregir fallas menores en un producto existente de copiadora es un ejemplo de este tipo de proyecto.
- ***Productos fundamentalmente nuevos:*** Estos proyectos abarcan tecnologías radicalmente nuevas de producción o de producto y pueden ayudar a entrar en mercados nuevos y desconocidos. Estos proyectos involucran en forma inherente más riesgo; no obstante, el éxito a largo plazo de la empresa puede depender de lo que se aprende en estos importantes proyectos. La primera copiadora digital Xerox desarrollada es un ejemplo de este tipo de proyecto.

El proceso

La figura 4-3 ilustra los pasos en el proceso de planeación del producto. Primero, se da prioridad a oportunidades múltiples y se selecciona un conjunto de proyectos prometedores. Se asignan recursos a estos proyectos y se programan. Estas actividades de planeación se enfocan en una *cartera* de oportunidades y proyectos potenciales, y a veces se conocen como manejo de cartera, planeación agregada de producto, planeación en línea de productos o administración de productos. Una vez seleccionados los proyectos y asignados los recursos se desarrolla la declaración de la misión para cada proyecto. Por lo tanto, la formulación de un plan de producto y el desarrollo de la declaración de la misión precede al proceso real de desarrollo de producto.

Aun cuando presentamos el proceso de planeación como esencialmente lineal, las actividades de seleccionar proyectos prometedores y asignar recursos son inherentemente iterativas. Es frecuente que las realidades de calendarios de trabajo y presupuestos obliguen a una revaluación de prioridades, así como más refinamiento y selección de potenciales proyectos. Por lo tanto, el plan del producto se revalúa con frecuencia y debe modificarse con base en la más reciente información proveniente de grupos de desarrollo, laboratorios de investigación y organizaciones de producción, mercadotecnia y servicio. El personal que interviene posteriormente en el proceso es a veces el primero en darse cuenta de que algo en el plan general o misión del proyecto es inconsistente, no factible o fuera de fecha. La capacidad de ajustar el plan del producto en el tiempo es vital para el éxito a largo plazo de la empresa.

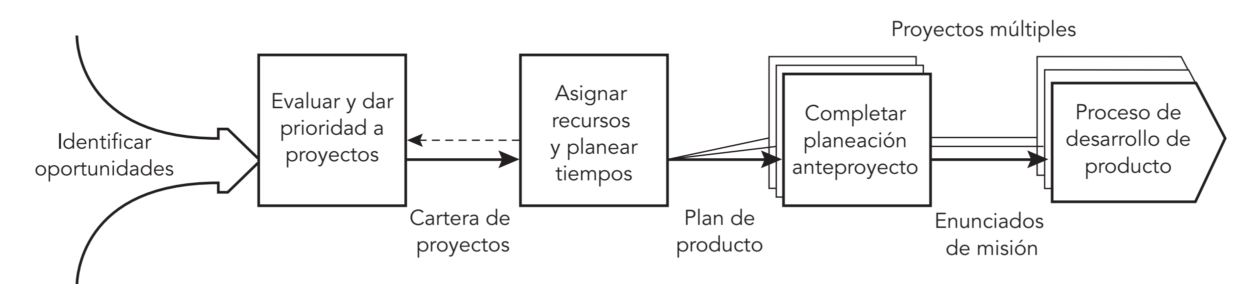


FIGURA 4-3 Proceso de planeación de un producto. Estas actividades manejan una cartera de proyectos de desarrollo de un producto que resultan en un plan de producto y, para cada proyecto seleccionado, una declaración de la misión.

Para desarrollar un plan de producto y enunciados de misión de proyecto, sugerimos un proceso de cinco pasos:

1. Identificar oportunidades.
2. Evaluar y dar prioridad a proyectos.
3. Asignar recursos y planear tiempos.
4. Completar la planeación del anteproyecto.
5. Reflexionar en los resultados y el proceso.

Paso 1: Identificar oportunidades

El proceso de planeación empieza con una identificación de oportunidades de desarrollo de un producto. Estas oportunidades pueden abarcar cualquiera de los cuatro tipos de proyectos definidos previamente. Este paso se puede considerar como un *embudo de oportunidades* porque reúne entradas de toda la empresa.

Las oportunidades se pueden captar de manera pasiva, pero también recomendamos que la empresa explícitamente trate de generar oportunidades. En el capítulo 3, Identificación de oportunidades, se ofrece un proceso para generar, reconocer y evaluar oportunidades.

Cuando se utiliza activamente, el embudo de oportunidades capta ideas en forma continua y pueden surgir nuevas oportunidades en cualquier momento. Como una manera de rastrear, clasificar y refinar estas oportunidades, recomendamos que toda oportunidad prometedora se describa en un enunciado breve y coherente y que esta información se capture en una base de datos. En internet hay varios sistemas de administración de ideas para recopilar y almacenar información sobre oportunidades, aunque una lista sencilla en una hoja de cálculo bien puede ser suficiente.

En Xerox, muchas oportunidades se han reunido y examinado. Algunas fueron simples mejoras a productos existentes y otras fueron propuestas para productos basados en tecnologías enteramente nuevas. A continuación veamos algunos ejemplos de enunciados de oportunidades similares a las propuestas en Xerox:

- Crear un sistema de distribución de documentos en el que una impresora en red se encuentra en el escritorio de cada empleado de oficina y en forma automática entrega correo y otros documentos.
- Crear un software de entrega de documentos que permita la entrega digital y almacenamiento de la mayor parte de documentos internos en computadoras personales de trabajadores.

Este enunciado de oportunidad se convirtió finalmente en el proyecto Lakes:

- Desarrollar una nueva plataforma para centrales de documentos, en blanco y negro, digital y en red para el mercado de oficinas, con funciones de escáner, memoria, fax, distribución e impresión.

Paso 2: Evaluar y dar prioridad a proyectos

Si se maneja de manera activa, el embudo de oportunidades puede captar cientos o hasta miles de oportunidades durante un año. Algunas de estas oportunidades no tienen sentido en el con-

texto de otras actividades de la empresa y, en la mayor parte de los casos, son simplemente demasiadas para que la empresa las persiga todas a la vez. El segundo paso en el proceso de planeación del producto es por lo tanto seleccionar los proyectos más prometedores a seguir. Cuatro perspectivas básicas son útiles al evaluar y dar prioridad a oportunidades para nuevos productos en categorías ya existentes de productos: estrategia competitiva, segmentación de mercados, trayectorias tecnológicas y plataformas de productos. Después de analizar estas cuatro perspectivas, a continuación examinamos cómo evaluar oportunidades para productos fundamentalmente nuevos y cómo equilibrar la cartera de proyectos.

Estrategia competitiva

La *estrategia competitiva* de una organización define un método básico de abordar mercados y productos con respecto a la competencia. La selección de las oportunidades a buscar puede ser guiada por esta estrategia. Casi todas las empresas dedican mucha discusión, a niveles de administración superior, a sus competencias estratégicas y a las formas en las que pretenden competir. Varias estrategias son posibles, como por ejemplo:

- ***Liderazgo tecnológico:*** Para poner en práctica esta estrategia, la empresa enfatiza la investigación básica y el desarrollo de nuevas tecnologías así como la aplicación de estas tecnologías en el desarrollo de productos.
- ***Liderazgo de costos:*** Esta estrategia exige que la empresa compita en eficiencia de producción, ya sea por medio de economías de escala, uso de mejores métodos de manufactura, mano de obra de bajo costo o mejor administración del sistema de producción. Los métodos de diseño para manufactura (vea capítulo 13) se destacan por lo tanto en las actividades de desarrollo y proceso de productos que siguen esta estrategia.
- ***Concentrarse en el cliente:*** Para seguir esta estrategia, la empresa trabaja estrechamente con clientes nuevos y existentes para evaluar sus cambiantes necesidades y preferencias. Las plataformas de productos son cuidadosamente diseñadas y facilitan el rápido desarrollo de productos derivados con nuevas características o funciones de interés para clientes. Esta estrategia puede resultar en una amplia línea de productos que ofrece gran variedad para abordar las necesidades de segmentos heterogéneos de clientes.
- ***Imitativa:*** Esta estrategia abarca tendencias que se siguen muy de cerca en el mercado, lo que permite a competidores explorar cuáles nuevos productos son exitosos para cada segmento. Cuando se han identificado oportunidades viables, la empresa rápidamente lanza nuevos productos para imitar a competidores exitosos. Un proceso de rápido desarrollo es esencial para implementar con eficiencia esta estrategia.

En Xerox, las discusiones estratégicas se centraron alrededor de cómo la empresa participaría en la revolución digital de oficinas asociada con el crecimiento de internet. Xerox pensó que internet haría posible un cambio ejemplar en la práctica de negocios de “imprimir y luego distribuir” a “distribuir y luego imprimir”. El proyecto Lakes necesitaría apoyar esta visión corporativa.

Segmentación de mercados

Por lo general los clientes pueden ser considerados como pertenecientes a distintos segmentos de mercado. Dividir un mercado en segmentos permite a una empresa considerar las acciones de la competencia, así como la fuerza de los productos existentes de la empresa con respecto a cada grupo bien definido de clientes. Al delimitar productos de la competencia y

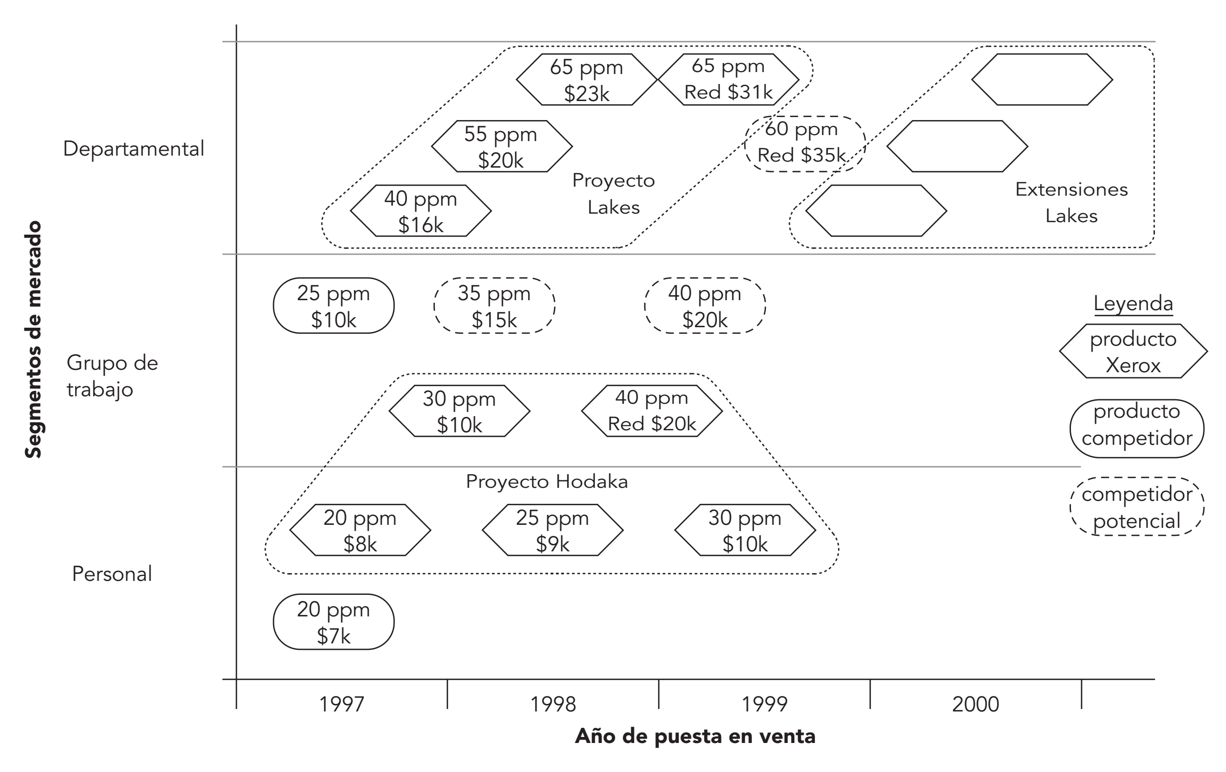


FIGURA 4-4 Mapa de segmentación de productos que muestra productos digitales en blanco y negro de Xerox y de la competencia en tres segmentos de mercado: máquinas personales, de grupo de trabajo y departamentales. Las dimensiones clave de desempeño (páginas por minuto, capacidad de conexión a red) y precios se presentan para cada producto en el mapa, junto con el tiempo de su introducción en el mercado.

los productos propios de la empresa en segmentos, ésta puede evaluar cuáles oportunidades del producto abordan mejor las debilidades de su línea de productos y cuáles explotan las debilidades de lo que ofrece la competencia. La figura 4-4 muestra un *mapa de segmentación de productos* para algunos productos Xerox en los que los mercados están segmentados de acuerdo con el número de usuarios que comparten equipo para oficinas.

Trayectorias tecnológicas

En negocios de tecnología intensiva, una decisión clave de planeación de productos es cuándo adoptar una nueva tecnología básica en una línea de productos. Por ejemplo, en el negocio de documentos, el problema tecnológico clave a principios de siglo es el cambio a procesamiento digital de imágenes e impresión. La decisión de planeación de productos fue cuándo desarrollar productos digitales, al contrario de desarrollar otro producto basado en tecnologías ópticas. Las *curvas S de tecnología* son una herramienta conceptual para ayudar a pensar acerca de esas decisiones.

La curva S de tecnología muestra el rendimiento de productos de una categoría en el tiempo, por lo general con respecto a una sola variable de desempeño como son resolución, velocidad o confiabilidad. La curva S ilustra un concepto básico pero importante: las tecnologías

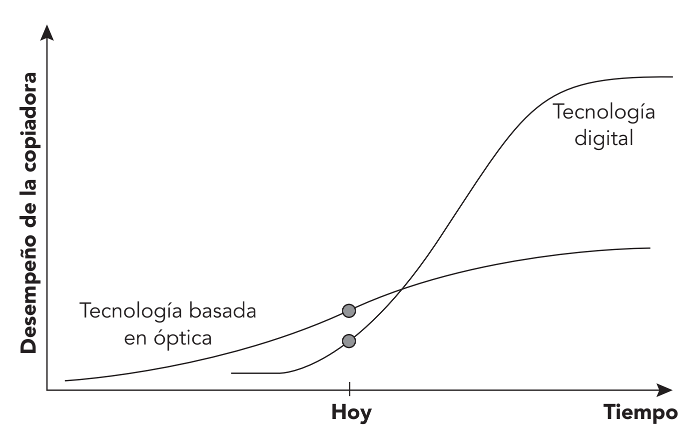


FIGURA 4-5 Esta curva S de tecnología ilustra que Xerox pensaba que las tecnologías de copiadoras digitales estaban apenas apareciendo y mejorarían el desempeño de productos en años por venir. Xerox pensó que podría desarrollar en el futuro cercano una copiadora digital con todas las funciones y con un desempeño que rebasara el de las copiadoras ópticas.

evolucionan de una aparición inicial cuando la operación es relativamente lenta, mediante un rápido crecimiento en operación basado en experiencia, y finalmente se aproximan a la madurez cuando se alcanza algún límite tecnológico natural y la tecnología puede quedar obsoleta. La trayectoria en forma de S capta esta dinámica general, como se ve en la figura 4-5. El eje horizontal puede ser investigación acumulativa y trabajo de desarrollo o tiempo; el eje vertical puede ser una razón rendimiento/costo o cualquier dimensión importante de desempeño. Mientras las curvas S caracterizan sorprendentemente bien un cambio tecnológico en una amplia variedad de industrias, a veces es difícil pronosticar la trayectoria futura de la curva de desempeño (qué tan cerca o lejos está el límite de rendimiento final).

Planeación de plataformas de productos

La plataforma de productos es el conjunto de activos compartidos en un conjunto de productos. Los componentes y subconjuntos son a veces los más importantes de estos activos. Una plataforma efectiva puede permitir crear una variedad de productos derivados con más rapidez y facilidad, con cada producto incorporando las características y funciones deseadas por un segmento particular de mercado. Vea en el capítulo 10, Arquitectura del producto, un análisis más a fondo de la arquitectura básica que hace posible la plataforma del producto, así como un método de planeación de plataforma.

Como los proyectos de desarrollo del producto pueden tomar de dos a 10 veces el tiempo y dinero que toman los proyectos de desarrollo de productos derivados, una empresa no puede darse el lujo de hacer de cada proyecto una nueva plataforma. La figura 4-6 ilustra la ventaja de una efectiva plataforma de productos. La decisión estratégica crítica en esta etapa es si un proyecto desarrollará un producto derivado de una plataforma existente o desarrollará una plataforma enteramente nueva. Las decisiones acerca de plataformas de productos están relacionadas en forma estrecha al trabajo de desarrollo tecnológico de la empresa y a decisiones acerca de cuáles tecnologías emplear en nuevos productos.

Una técnica para coordinar el desarrollo tecnológico con planeación de productos es la del *mapa de tecnología*. Un mapa de tecnología es una forma de representar la disponibilidad esperada y uso futuro de varias tecnologías relevantes para el producto considerado. Este método ha estado en uso por parte de Motorola, Philips, Xerox y otros líderes en industrias altamente tecnológicas y con rápido movimiento. El método es particularmente útil para planear productos donde los elementos funcionales críticos se conocen bien por anticipado.

Para crear un mapa de tecnología se marcan y colocan varias generaciones de tecnologías a lo largo de una línea de tiempo, como se ve en la figura 4-7. El mapa de tecnología se puede aumentar con la regulación en tiempo de proyectos, así como con proyectos que utilizarían estos desarrollos tecnológicos. (A veces se denomina *mapa de tecnología de producto*.) El re-

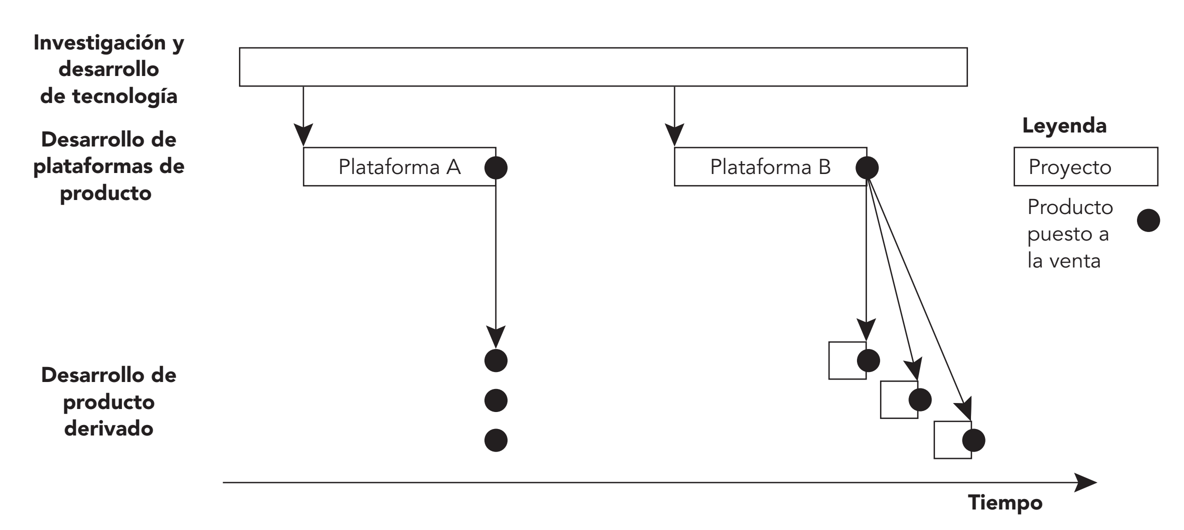


FIGURA 4-6 Un proyecto para desarrollar una plataforma genera la arquitectura de una familia de productos. Los productos derivados pueden estar incluidos en el trabajo inicial de desarrollo de productos (Plataforma A) o los productos derivados pueden seguir después (Plataforma B).

sultado es un diagrama que muestra los elementos funcionales clave de un producto y la secuencia de tecnologías esperada para implementar estos elementos en un tiempo determinado. Los mapas de tecnología pueden servir como herramienta de planeación para crear una estrategia conjunta entre desarrollo de tecnología y desarrollo de un producto.

Evaluación de oportunidades de productos fundamentalmente nuevos

Además de las nuevas versiones de productos en categorías de productos existentes, la empresa se enfrenta a muchas oportunidades ya sea en mercados nuevos o en tecnologías fundamentalmente nuevas. Mientras que invertir pocos recursos en el desarrollo de productos usando nuevas tecnologías o para nuevos mercados es bastante riesgoso, algunas de estas inversiones son necesarias para rejuvenecer en forma periódica la cartera de productos (Christensen, 1997). Algunos criterios para evaluar oportunidades de un producto fundamentalmente nuevo incluyen:

- Tamaño del mercado (unidades/año × precio promedio).
- Rapidez de crecimiento de mercado (porcentaje por año).
- Intensidad competitiva (número de competidores y sus fortalezas).
- Profundidad del conocimiento existente de la empresa acerca del mercado.
- Profundidad del conocimiento existente de la empresa acerca de la tecnología.
- Ajuste con otros productos de la empresa.
- Ajuste con la capacidad de la empresa.
- Potencial para patentes, secretos industriales u otras barreras a la competencia.
- Existencia de un producto “campeón” dentro de la empresa.

Mientras que estos criterios son útiles en particular para evaluar oportunidades de productos fundamentalmente nuevos, también se aplican en general para evaluar cualquier oportuni-

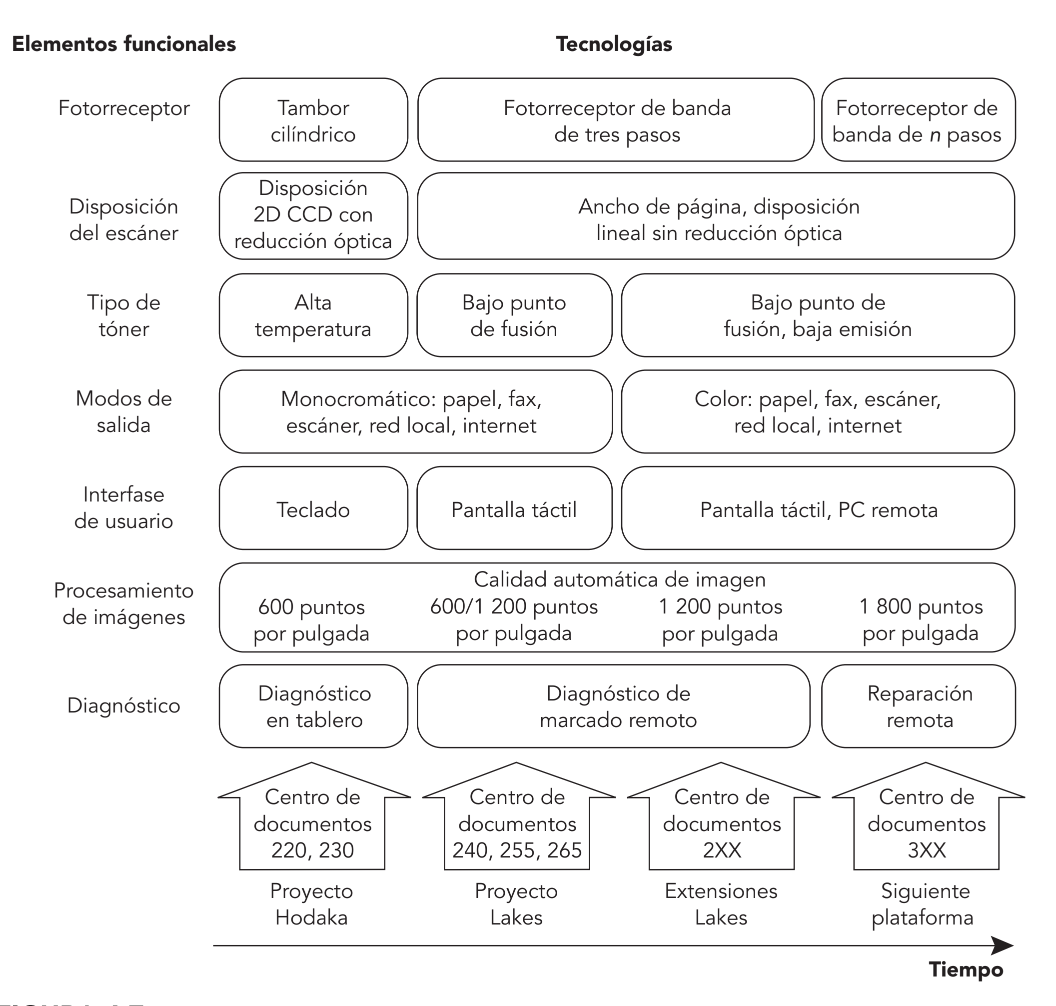


FIGURA 4-7 Este mapa de tecnología muestra los ciclos de vida útil de varias tecnologías de fotocopia digital e identifica los que se pueden usar en cada producto. Para la plataforma Lakes, Xerox seleccionó tecnologías para funciones críticas que podrían ampliarse a mayores velocidades y capacidad de color requeridas para sus productos derivados.

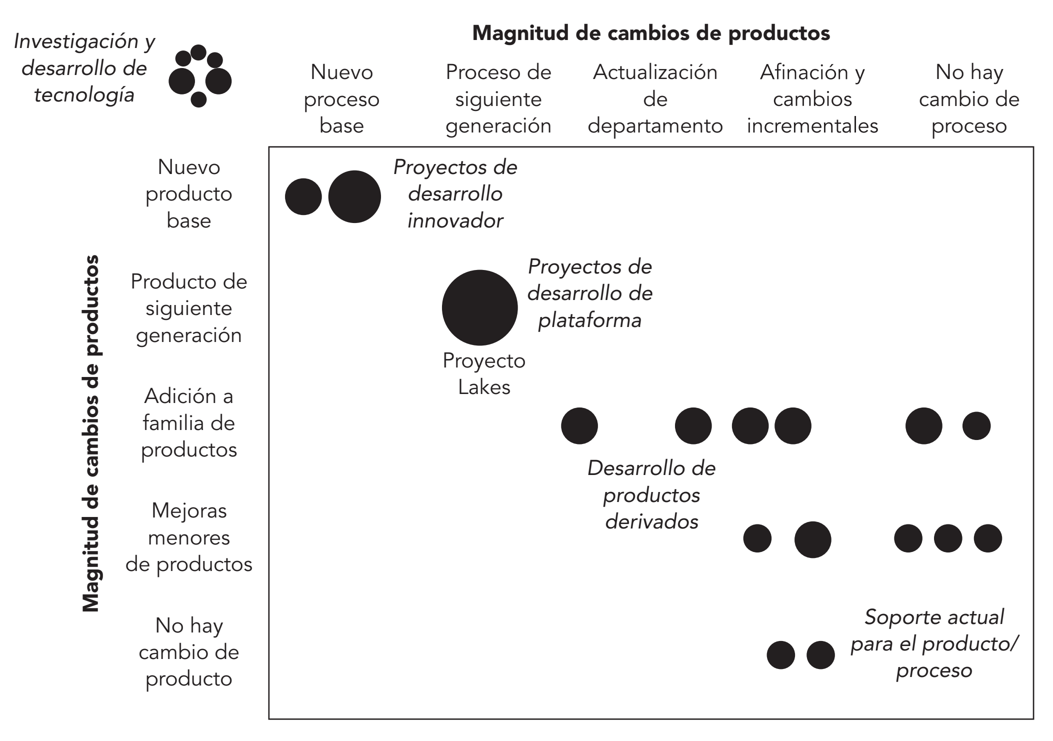
dad de producto. Estos criterios se pueden usar en una matriz simple de selección para evaluar el atractivo general y tipos de riesgo para cualquier oportunidad dada. En el capítulo 3, Identificación de oportunidades, se presenta el análisis de oportunidades "real-ganar-vale la pena", un ejemplo de evaluación basada en criterios. En el capítulo 8, Selección del concepto, se describen matrices de filtrado para seleccionar conceptos de productos, pero este método también se aplica directamente a la selección de oportunidades de productos.

Equilibrio de la cartera

Hay muchos métodos para ayudar a gerentes a equilibrar la cartera de proyectos de desarrollo de una organización. Varios de estos métodos comprenden la representación gráfica de la cartera en dimensiones útiles para que los gerentes puedan considerar las implicaciones estraté-

gicas de sus decisiones de planeación. Cooper *et al.* (2001) describen numerosos métodos gráficos que contienen factores tales como riesgo técnico, rendimiento financiero, cualidades atractivas de mercado y otros semejantes. Un diagrama particularmente útil, sugerido por Wheelwright y Clark (1992), traza la gráfica de la cartera de proyectos en dos dimensiones: la magnitud en que el proyecto involucra un cambio en la línea de productos y la magnitud en que el proyecto involucra un cambio en procesos de producción. La figura 4-8 ilustra esta representación gráfica, llamada *matriz de cambios en el proceso del producto*. Esta perspectiva puede ser útil para notar desequilibrios en la cartera de proyectos bajo consideración y para evaluar la consistencia entre una cartera de proyectos y la estrategia de la competencia. Por ejemplo, una empresa puede descubrir que ha identificado que en esencia no hay oportunidades de progreso o que no tiene proyectos destinados a mejoras incrementales en productos existentes.

No hay procedimientos generales para decidir con exactitud cómo debe verse la cartera. Sin embargo, la elección de una estrategia competitiva por parte de la empresa debe afectar la forma de la cartera de desarrollo de productos. Por ejemplo, una empresa que busca una estrategia de bajos costos esperaría que la cartera tuviera más proyectos de mejora de procesos de producción. Las empresas que siguen una estrategia que requiere alta variedad de productos necesitarían desarrollar numerosos productos derivados con base en plataformas existentes.



Adaptado de Wheelwright y Clark, 1992

FIGURA 4-8 Matriz de cambios en el proceso de productos. El tamaño de círculos indica el costo relativo de proyectos de desarrollo.

Las empresas que ponen en práctica una estrategia basada en superioridad tecnológica pueden necesitar una cartera que incluya más desarrollo tecnológico, así como proyectos de progreso, anticipándose a que no todos estos proyectos riesgosos resultarán en nuevos productos que se puedan vender. Nótese que planear actividades de investigación y desarrollo tecnológico está estrechamente unido al proceso de planeación del producto, pero por lo general fuera de la esfera de este último proceso.

Paso 3: Asignar recursos y planear tiempos

Es probable que una empresa no pueda invertir en toda oportunidad de desarrollo de productos que componen su ideal y su equilibrada cartera de proyectos. Como los tiempos y asignación de recursos están determinados para casi todos los proyectos prometedores, demasiados proyectos competirán invariablemente por recursos limitados. En consecuencia, el intento de asignar recursos y planear tiempos casi siempre resulta en un retorno al paso previo de evaluación y asignación de prioridad para determinar el conjunto de proyectos a seguir.

Asignación de recursos

Muchas organizaciones toman demasiados proyectos sin considerar la limitada disponibilidad de recursos de desarrollo. En consecuencia, ingenieros y gerentes experimentados se asignan a más y más proyectos, la productividad baja considerablemente, los proyectos toman más tiempo para completarse, los productos llegan con retraso al mercado y las utilidades son menores. La *planeación agregada* ayuda a una organización a hacer un uso eficiente de sus recursos al continuar sólo aquellos proyectos que puedan completarse razonablemente con los recursos presupuestados.

El proyecto Lakes fue sólo uno de muchos de los propuestos en Xerox. No obstante, puesto que Lakes comprendía el desarrollo de toda una nueva plataforma, este proyecto fue considerablemente más grande que los otros proyectos que se consideraban en ese tiempo. Cualquier cartera factible de proyectos estaría dominada por las demandas de recursos del trabajo de desarrollo de plataforma de Lakes. De hecho, para que los gerentes de Xerox dispusieran de los recursos necesarios para ejecutar el proyecto Lakes, tuvieron que eliminar o posponer muchos otros proyectos, hasta que los ingenieros terminaran de trabajar en el proyecto Lakes.

La estimación de los recursos necesarios para cada uno de los proyectos en el plan mensual, trimestral o anual obliga a la organización a enfrentar la realidad de sólo contar con recursos limitados. En muchos casos, el recurso principal a manejarse es el trabajo del personal de desarrollo, que por lo general se expresa en horas-hombre u hombre-mes. Otros recursos de importancia crítica pueden también requerir una cuidadosa planeación, por ejemplo las instalaciones del taller para construcción de modelos, equipo de construcción rápida de prototipos, líneas de producción piloto, talleres de pruebas, etc. Las estimaciones de recursos necesarios en cada periodo pueden compararse con los recursos disponibles para calcular una razón (demanda/capacidad) de utilización de capacidad total, así como utilizaciones por tipos de recurso, como se ve en la figura 4-9. Donde la utilización rebasa el 100% no hay suficientes recursos para ejecutar todos los proyectos del plan dentro del calendario. De hecho, para tomar en cuenta contingencias y hacer posible que haya rápida respuesta, la utilización planeada de capacidad puede ser por debajo de 100%.

En el proceso de planeación agregada, una organización puede encontrar que está en riesgo de comprometer demasiados recursos (a veces hasta 100% o más, según Wheelwright y Clark,

1992). Por lo tanto, la organización debe decidir en la etapa de planeación cuáles proyectos son más importantes para el éxito de la empresa y desarrollarlos con recursos adecuados. Puede que sea necesario eliminar otros proyectos del plan o cambiarlos a tiempo.

Programación del proyecto

Para determinar el calendario y secuencia de proyectos, a veces llamado *administración en ramificación*, se deben considerar varios factores, incluyendo:

- ***Programación de lanzamientos de productos:*** Generalmente, cuanto más pronto se lleve un producto al mercado es mejor. No obstante, lanzar un producto antes de que tenga la calidad adecuada puede dañar el prestigio de la empresa.
- ***Disposición de tecnología:*** La robustez de las tecnologías básicas desempeña un papel de importancia crítica en el proceso de planeación. Una tecnología demostrada y robusta puede integrarse a productos en forma mucho más rápida y confiable.
- ***Disposición del mercado:*** La programación de lanzamientos de productos determina si los primeros que lo adoptan compran el producto de baja calidad y pueden cambiarlo o si compran el producto de alta calidad ofrecido a un precio inicial alto. Sacar a la venta productos mejorados con demasiada rapidez puede frustrar a clientes que desean conservarlos; por otra parte, sacar a la venta productos nuevos con demasiada lentitud pone en riesgo a la empresa de quedar detrás de la competencia.
- ***Competencia:*** La puesta a la venta anticipada de productos competitivos puede acelerar el calendario de proyectos de desarrollo.

El plan del producto

El conjunto de proyectos aprobados por el proceso de planeación, secuenciados en tiempo, se convierte en el *plan del producto*, como se muestra en la figura 4-2. El plan puede incluir una mezcla de productos fundamentalmente nuevos, proyectos de plataforma y proyectos derivados de tamaño variable. Los planes de productos se actualizan periódicamente, quizá cada tres meses o una vez al año, como parte de la actividad de planeación estratégica de la empresa.

Paso 4: Completar la planeación del anteproyecto

Una vez aprobado el proyecto y antes de aplicar recursos importantes, tiene lugar una actividad que es la planeación del anteproyecto. Esta actividad comprende un pequeño grupo de empleados interfuncionales, a veces conocido como *equipo principal*. El equipo principal de Lakes estuvo formado por alrededor de 30 empleados que representaban una amplia variedad de especialidades técnicas, de mercadotecnia, manufactura y funciones de servicio.

En este punto, el primer enunciado de oportunidad se puede reescribir como la *declaración de la visión del producto.* El grupo de concepto de Lakes empezó con la siguiente declaración de la visión del producto:

> *Desarrollar una plataforma digital de capacidad media para uso en red, para elaboración de imágenes, marcado y acabado.*

El objetivo definido por la declaración de la visión de producto puede ser muy general. Quizá no diga cuáles tecnologías nuevas específicas deben usarse, ni necesariamente especi-

	Año 1					Año 2					Año 3				
	Diseño mecánico	Ingeniería eléctrica	Ingeniería de manufactura	Software/memoria en ROM	Diseño industrial	Diseño mecánico	Ingeniería eléctrica	Ingeniería de manufactura	Software/memoria en ROM	Diseño industrial	Diseño mecánico	Ingeniería eléctrica	Ingeniería de manufactura	Software/memoria en ROM	Diseño industrial
Proyecto Lakes	155	160	105	75	7	210	160	140	80	4	125	140	160	90	2
Proyecto 6010	30	25	10	5	1	25	20	5	6				5		
Proyecto 595	60	24	25			20	15	15							
Proyecto Astro	55	60	44	25	2	75	65	50	40	2	45	40	60	20	
Demanda de recursos	300	269	184	105	10	330	260	210	126	6	170	180	225	110	2
Capacidad de recursos	250	250	200	100	8	250	250	200	100	8	250	250	200	100	8
Utilización de la capacidad	120%	108%	92%	105%	125%	132%	104%	105%	126%	75%	68%	72%	113%	110%	25%

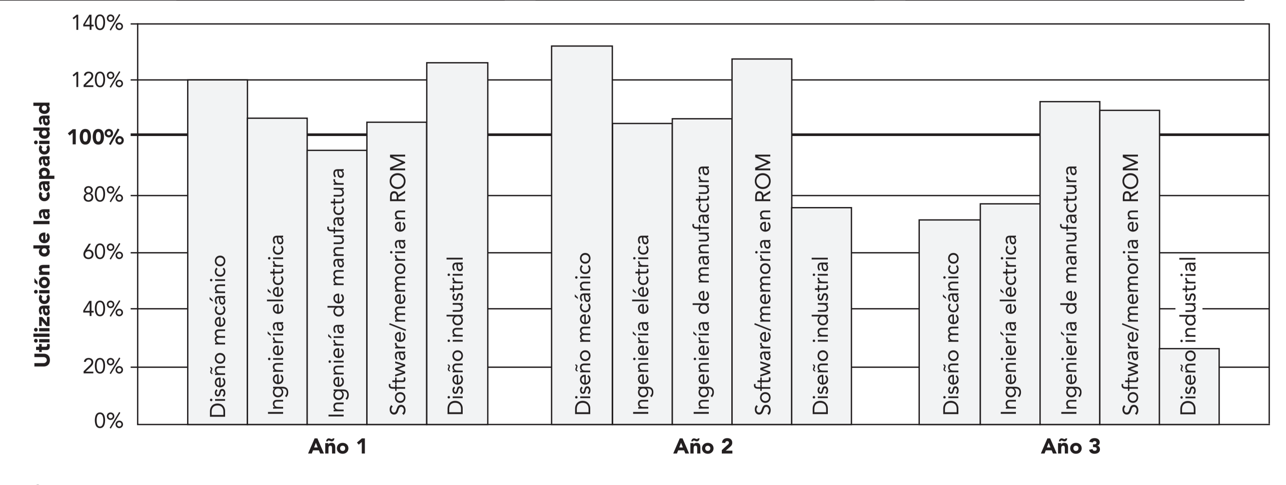


FIGURA 4-9 La planeación agregada de producto se puede lograr usando una hoja de cálculo basada en estimaciones de demandas de recursos con el tiempo. Este ejemplo de hoja de cálculo usa unidades de hombre-año, aun cuando, en la práctica, suelen emplearse unidades más pequeñas de tiempo (trimestres o meses). La gráfica asociada destaca en dónde es insuficiente la capacidad para manejar todos los proyectos.

fica las metas y restricciones de funciones tales como operaciones de producción y servicio. A fin de obtener una guía clara para la organización de desarrollo del producto, generalmente el grupo formula una definición más detallada del mercado objetivo y de las suposiciones bajo las cuales el grupo de desarrollo ha de operar. Estas decisiones se captan en la *declaración de la misión*, un resumen que se ilustra en la figura 4-10.

Declaración de la misión

La declaración de la misión puede incluir alguna o toda la información siguiente:

- ***Breve descripción (una oración) del producto:*** Esta descripción identifica la función básica del producto pero evita implicar un concepto específico de producto. Puede, de hecho, ser la declaración de la visión del producto.

Declaración de la misión: máquina multifuncional de documentos para oficina	
Descripción del producto	• Para uso en red, máquina digital con copiadora, impresora, fax y escáner
Propuesta de valor	• Múltiples funciones de proceso de documentos en una máquina • Conectada a la red de computadoras de la oficina
Objetivos clave de negocio	• Apoyar estrategia de liderazgo de Xerox en equipos digitales para oficina • Servir como plataforma para todos los productos digitales ByN y soluciones • Captar 50% de ventas de producto digital en mercado primario • No daña el ambiente • Primera introducción del producto, 4o. trimestre 1997
Mercado primario	• Departamentos de oficina, volumen medio (40-65 ppm, arriba de 42 000 copias/mes en promedio)
Mercados secundarios	• Mercado de impresión rápida • Operaciones “satélite” pequeñas
Suposiciones y restricciones	• Plataforma de nuevo producto • Tecnología de imágenes digitales • Compatible con software CentreWare • Equipos de entrada manufacturados en Canadá • Equipos de salida manufacturados en Brasil • Motor de procesamiento de imágenes manufacturado en Estados Unidos y Europa
Involucrados	• Compradores y usuarios • Operaciones de manufactura • Operaciones de servicio • Distribuidores y revendedores

FIGURA 4-10 Declaración de la misión para el proyecto Lakes. Este documento resume la dirección a seguir por el grupo de desarrollo del producto. Muchos más detalles se agregan a esta declaración de la misión, incluyendo metas ambientales, objetivos de servicio y tecnologías específicas identificadas para usarse en la plataforma Lakes.

- ***Propuesta de valor:*** Este elemento de la declaración de la misión articula las pocas razones críticas por las que un cliente compraría el producto. En alguna medida esto es una hipótesis que será validada durante el proceso de desarrollo del concepto.
- ***Objetivos clave de negocio:*** Además de los objetivos de proyecto que apoyan la estrategia corporativa, estos objetivos por lo general incluyen metas para tiempo, costo y calidad (por ejemplo, calendario de introducción del producto, operación financiera deseada, objetivos de participación del mercado).
- ***Mercado(s) objetivo para el producto:*** Puede haber varios mercados objetivo para el producto. Esta parte de la declaración de la misión identifica el mercado primario así como mercados secundarios que deberían considerarse en el trabajo de desarrollo.
- ***Suposiciones y restricciones que guían la tarea de desarrollo:*** Las suposiciones deben hacerse cuidadosamente; aun cuando restringen la variedad de conceptos posibles de producto, ayudan a mantener un campo manejable de proyecto. La información puede adjuntarse a la declaración de la misión para documentar decisiones acerca de suposiciones y restricciones.
- ***Involucrados:*** Un modo de asegurar que muchos de los sutiles problemas de desarrollo se aborden es hacer en forma explícita una lista de todos los involucrados, es decir, todos los grupos de personas que son afectados por el éxito o fracaso del producto. La lista de involucrados se inicia con el usuario final (el cliente externo final) y el cliente externo que toma la decisión de comprar el producto. Los involucrados también incluyen a clientes del producto que residen dentro de la empresa, por ejemplo el personal de ventas, la organización de servicio y los departamentos de producción. La lista de involucrados sirve al grupo como recordatorio para considerar las necesidades de todos aquellos que estarán influenciados por el producto.

Suposiciones y restricciones

Al crear la declaración de la misión, el grupo considera las estrategias de varios departamentos funcionales dentro de la empresa. De las posibles estrategias funcionales a considerar, las de manufactura, servicio y ambiente tuvieron la mayor influencia en el proyecto Lakes. De hecho, estas estrategias guiaron a los desarrollos técnicos base del producto.

Uno podría razonablemente preguntarse por qué las estrategias de manufactura, servicio y ambiente (por ejemplo) deben ser parte de la declaración de la misión para un nuevo producto. Un punto de vista alternativo es que las decisiones acerca de estos problemas deben surgir de las necesidades del cliente para el nuevo producto y no deben determinarse por anticipado. Primero, para proyectos muy complejos, como el Lakes, el diseño del sistema de manufactura es un proyecto de magnitud semejante al diseño del producto en sí. En consecuencia, es necesario que las instalaciones de manufactura que participan en el producto sean identificadas al principio del proceso. Segundo, algunos requisitos del producto podrían no derivarse estrictamente de las necesidades del cliente. Por ejemplo, casi todos los clientes no expresarán de manera directa una necesidad de bajo impacto ambiental. No obstante, Xerox decidió adoptar una política corporativa de diseño responsable desde el punto de vista ambiental. En tales casos, la declaración de la misión debe reflejar estas metas y restricciones corporativas.

A continuación veamos algunos de los problemas que Xerox consideró al establecer suposiciones y restricciones para el proyecto Lakes.

- ***Manufactura:*** Aun en esta temprana etapa es importante considerar la habilidad, capacidad y restricciones de las operaciones de manufactura. Una amplia variedad de preguntas

puede ser relevante, incluyendo: ¿Cuáles instalaciones de producción interna podrían usarse para manufacturar y ensamblar el producto? ¿Cuáles proveedores deben intervenir en el desarrollo y cuándo? ¿Los sistemas existentes de producción son capaces de producir las nuevas tecnologías que han sido identificadas para el producto? Para Lakes, Xerox supuso que debían manufacturarse los equipos de entrada en plantas de producción en Canadá, los equipos de salida en Brasil y el motor de procesamiento de imágenes digitales en Estados Unidos y Europa.

- ***Servicio:*** En un negocio donde el servicio al cliente y los ingresos por servicio son de importancia crítica para el éxito de la empresa, también es necesario expresar metas estratégicas para la calidad en niveles de servicio. Entre las tareas para mejorar el servicio se incluye un compromiso estratégico para diseñar productos que contengan pocas piezas, a los que se pueda dar servicio rápidamente. Para el proyecto Lakes, las metas de capacidad de servicio incluyeron reducir tanto el número de módulos de reemplazo en sitio, necesarios para dar servicio completo a una máquina, como el tiempo para instalarlos en un orden de magnitud.
- ***Ambiente:*** Hoy en día, numerosas corporaciones están desarrollando nuevos productos buscando un ambiente sustentable. El equipo de concepto del proyecto Lakes adoptó la principal política de Xerox, "cero residuos que enterrar", una meta muy ambiciosa incluso para un líder en diseño ambiental como Xerox. La meta indicada era que ningún componente de un producto Lakes debería irse nunca al basurero. Todos los componentes debían ser susceptibles de remanufactura, reciclado o ambos. Ninguna pieza debería ser desechada por los clientes. La estrategia del diseño ambiental del proyecto Lakes también incluyó una meta de eficiencia en consumo de energía para que fuera "la máquina más eficiente en su clase".

Asignación de personal y otras actividades de planeación del anteproyecto

La actividad de planeación del anteproyecto también involucra, generalmente, la asignación de personal y liderazgo del proyecto. Esto puede comprender el hecho de que miembros clave del personal de desarrollo "firmen" para un nuevo proyecto, es decir, estén de acuerdo en comprometerse a dirigir el desarrollo del producto o de un elemento crítico del producto. Por lo general se establecen presupuestos durante la planeación del anteproyecto.

Para productos fundamentalmente nuevos, los planes de presupuesto y asignación de personal serán sólo para la fase de desarrollo del concepto. Esto es porque los detalles del proyecto son altamente inciertos hasta que se haya establecido el concepto básico para el nuevo producto. Una planeación más detallada se presentará cuando y sólo si el concepto se desarrolla más.

Paso 5: Reflexionar en los resultados y el proceso

En este paso final del proceso de planeación y estrategia, el equipo debe hacer varias preguntas para evaluar la calidad del proceso y los resultados. Algunas preguntas sugeridas son:

- ¿El embudo de oportunidades está captando un estimulante y diverso conjunto de oportunidades del producto?
- ¿El plan del producto apoya la estrategia competitiva de la empresa?
- ¿El plan del producto aborda las oportunidades actuales más importantes a las que se enfrenta la empresa?

- ¿Son suficientes los recursos totales asignados al desarrollo del producto para seguir la estrategia competitiva de la empresa?
- ¿Han sido consideradas formas creativas de influir en recursos finitos, por ejemplo el uso de plataformas de productos, inversiones conjuntas y sociedades con proveedores?
- ¿El equipo principal acepta los desafíos de la declaración de la misión resultante?
- ¿Son consistentes los elementos de la declaración de la misión?
- ¿Las suposiciones de la declaración de la misión son realmente necesarias o el proyecto está excesivamente restringido? ¿El grupo de desarrollo tendrá libertad de desarrollar el mejor producto posible?
- ¿Cómo puede ser mejorado el proceso de planeación del producto?

Como la declaración de la misión es la transferencia al equipo de desarrollo, una "verificación de la realidad" debe efectuarse antes de continuar con el proceso de desarrollo. Esta etapa temprana es el momento para corregir fallas conocidas, para que no se hagan más graves y costosas a medida que avance el proceso de desarrollo.

Este capítulo explica el método de planeación del producto como proceso por pasos, principalmente por su sencillez de presentación. No obstante, la reflexión y la crítica de consistencia y ajuste debe ser un proceso continuo. Los pasos del proceso pueden y deben ser ejecutados de manera simultánea para asegurarse de que los muchos planes y decisiones son consistentes entre sí y con las metas, capacidades y res tricciones de la empresa.

Resumen

- La planeación del producto es un proceso periódico que considera que se ejecute la cartera de proyectos de desarrollo del producto.
- La planeación del producto comprende un proceso de cinco pasos:

  1. Identificar oportunidades.
  2. Evaluar y dar prioridad a proyectos.
  3. Asignar recursos y planear tiempos.
  4. Completar la planeación del anteproyecto.
  5. Reflexionar en los resultados y el proceso.

- El embudo de oportunidades capta posibilidades para nuevas plataformas de productos, mejoras y productos fundamentalmente nuevos de varias fuentes, dentro y fuera de la empresa.
- Los potenciales proyectos de desarrollo de productos se evalúan con base en la estrategia competitiva de la organización, trayectorias tecnológicas y planes de plataformas de productos.
- Una cartera equilibrada de proyectos de desarrollo puede incluir inversiones en adelantos en productos, nuevas plataformas, derivados y apoyo a un producto actual.
- La planeación agregada garantiza que los proyectos seleccionados tengan recursos adecuados para una terminación exitosa.
- La declaración de la misión para cada producto de desarrollo documenta la descripción del producto, propuesta de valor, objetivos de negocio, mercados objetivo, suposiciones críticas e involucrados con el producto.

Referencias y bibliografía

Existen numerosos recursos en internet **www.ulrich-eppinger.net**

Hay muchos y excelentes libros sobre estrategia competitiva. Estas selecciones incluyen discusiones relacionadas con la planeación de productos.

Day, George S., *Market Driven Strategy: Processes for Creating Value,* The Free Press, Nueva York, 1990.

Moore, Geoffrey A., *Crossing the Chasm: Marketing and Selling Technology Products to Mainstream Customers,* Harper Business, Nueva York, 1991.

Porter, Michael E., *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance,* The Free Press, Nueva York, 1985.

Treacy, Michael y Fred Wiersema, *The Discipline of Market Leaders,* Addison-Wesley, Reading, MA, 1995.

Wheelwright y Clark examinan varias de las dimensiones de la planeación de productos presentadas aquí, incluyendo planeación agregada y algunas formas de representar métodos.

Wheelwright, Steven C. y Kim B. Clark, "Creating Plans to Focus Product Development", *Harvard Business Review,* marzo-abril de 1992, pp. 70-82.

Cooper, Edgett y Kleinschmidt describen una amplia variedad de métodos de manejo de cartera de productos, incluyendo análisis financiero, técnicas de puntuación y métodos de representación visual.

Cooper, Robert G., Scott J. Edgett y Elko J. Kleinschmidt, *Portfolio Management for New Products,* segunda edición, Basic Books, Nueva York, 2001.

Fine relaciona la estrategia de planeación del producto y de competencia con las decisiones de diseño de cadena de suministro y alianzas estratégicas con proveedores.

Fine, Charles. H., *Clockspeed: Winning Control in the Age of Temporary Advantage,* Perseus Books, Reading, MA, 1998.

McGrath destaca la planeación de plataformas de productos y la estrategia para productos basados en tecnología.

McGrath, Michael E., *Product Strategy for High-Technology Companies,* McGraw-Hill, Nueva York, 1995.

Reinertsen pone especial atención en el problema del exceso de utilización de capacidad de desarrollo agregada.

Reinertsen, Donald G., *Managing the Design Factory: The Product Developer's Toolkit,* The Free Press, Nueva York, 1997.

Algunos textos de mercadotecnia incluyen una exposición más detallada de la estrategia de mercados, análisis de mercados y planeación de productos.

Crawford, C. Merle y Anthony Di Benedetto, *New Products Management,* novena edición, McGraw-Hill, Nueva York, 2008.

Urban, Glen L. y John R. Hauser, *Design and Marketing of New Products,* segunda edición, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993.

Foster desarrolló el concepto de las curvas S y da muchos e interesantes ejemplos de un diverso conjunto de industrias.

Foster, Richard N., *Innovation: The Attacker's Advantage,* Summit Books, Nueva York, 1986.

Burgelman y Maidique hacen un muy buen análisis de curvas S de tecnología y destacan que estas curvas de ciclo de vida útil no están predeterminadas; más bien, pueden estar influidas por trabajos de desarrollo técnico.

Burgelman, Robert A. y Modesto A. Maidique y Steven C. Wheelwright, *Strategic Management of Technology and Innovation*, tercera edición, Irwin Professional Publishing, Homewood, IL, 2001.

Varios autores presentan un análisis más completo de planeación de plataformas de productos en varias industrias.

Meyer, Marc H. y Alvin P. Lehnerd, *The Power of Product Platforms,* The Free Press, Nueva York, 1997.

Sanderson, Susan W. y Mustafa Uzumeri, *Managing Product Families,* Irwin, Chicago, 1997.

Algunos gerentes en Motorola y Philips describen el uso de varios métodos de mapas de tecnología para integrar la planeación del desarrollo de tecnología y el desarrollo de productos.

Groenveld, Pieter, "Roadmapping Integrates Business and Technology", *Research-Technology Management*, vol. 40, núm. 5, septiembre-octubre de 1997, pp. 48-55.

Willyard, Charles H. y Cheryl W. McClees, "Motorola's Technology Roadmap Process", *Research Management*, vol 30, núm. 5, septiembre-octubre de 1987, pp. 13-19.

Christensen da evidencia de que las empresas deben invertir en productos, tecnologías y mercados fundamentalmente nuevos para continuar como líderes en sus industrias.

Christensen, Clayton M., *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail,* Harvard Business School Press, Boston, 1997.

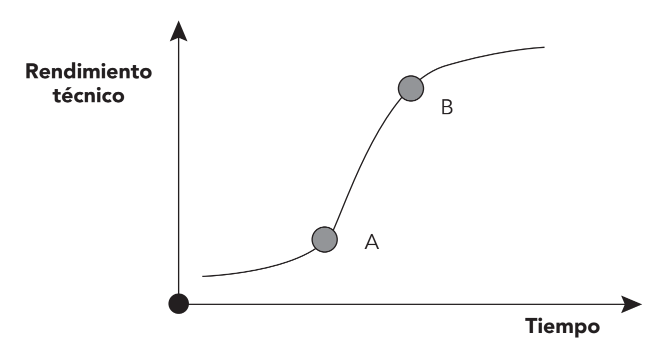
Ejercicios

1. Efectuar una búsqueda usando internet o informes anuales corporativos publicados para identificar la estrategia corporativa de una empresa en la que el lector podría interesarse en investigar. Aprenda acerca de las líneas de productos de la empresa y de sus productos más recientes. ¿En qué forma es que estos productos apoyan la estrategia corporativa? ¿Qué tipos de proyectos esperaría ver en el plan de productos?

2. Cree un mapa de tecnología de un producto que ilustre la disponibilidad de tecnologías para una clase de productos que usted entienda bien, por ejemplo las computadoras personales.

Preguntas de análisis

1. ¿Cómo podría diferir una cartera de proyectos de desarrollo si la empresa piensa que la tecnología de un producto en particular está actualmente en la posición A o B en la curva S de tecnología que se muestra a continuación?



2. ¿Cómo podría Xerox manejar la escasez de ingenieros de diseño mecánico identificados por el análisis de planeación de proyecto agregado que se ve en la figura 4-9? Haga una lista de cinco formas en que Xerox podría aumentar la capacidad y otras cinco para reducir la demanda de ingenieros de diseño mecánico.

CAPÍTULO CINCO

Identificación de las necesidades del cliente

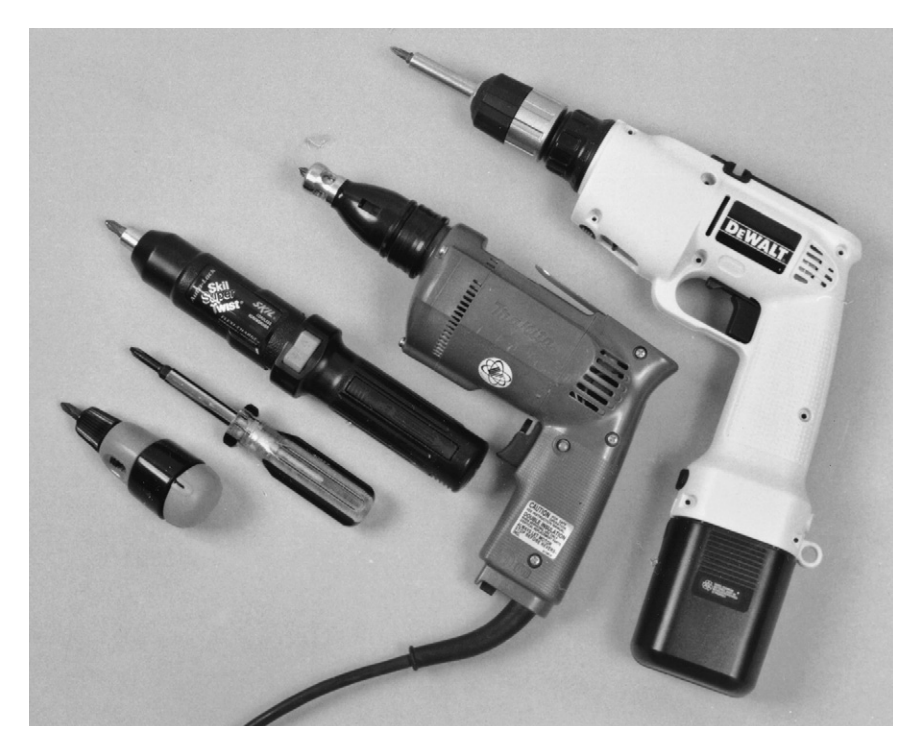


Foto de Stuart Cohen

FIGURA 5-1 Productos existentes empleados para atornillar: desarmadores manuales, desarmador de pilas, pistola de tornillos, taladro inalámbrico con boquilla.

Una exitosa empresa fabricante de herramientas manuales exploraba el creciente mercado de herramientas manuales eléctricas. Después de una investigación inicial, la empresa decidió entrar al mercado con un desarmador inalámbrico. La figura 5-1 presenta varios productos existentes que se usan para atornillar. Después de cierto trabajo inicial conceptual, el grupo de desarrollo de la empresa fabricó y probó varios prototipos. Los resultados fueron desalentadores. Aun cuando algunos de los productos fueron recibidos mejor que otros, cada uno tenía alguna característica que los clientes rechazaban de una u otra forma. Los resultados fueron bastante desconcertantes porque durante años la compañía había tenido éxito en productos de consumo afines. Después de mucho análisis, el grupo decidió que su proceso para identificar las necesidades de los clientes era inadecuado.

Este capítulo presenta un método para identificar por completo un conjunto de necesidades del cliente. Los objetivos del método son:

- Asegurar que el producto se enfoque en las necesidades del cliente.
- Identificar necesidades latentes u ocultas, así como necesidades explícitas.
- Proporcionar una base de datos para justificar las especificaciones del producto.
- Crear un registro de archivos de la actividad de necesidades del proceso de desarrollo.
- Asegurar que no falte o no se olvide ninguna necesidad crítica del cliente.
- Desarrollar un entendimiento común de las necesidades del cliente entre miembros del grupo de desarrollo.

La filosofía detrás del método es crear un canal de información de alta calidad que fluya directamente entre clientes del mercado objetivo y los desarrolladores del producto. Esta filosofía se basa en la premisa de que quienes controlan directamente los detalles del producto, incluyendo ingenieros y diseñadores industriales, deben interactuar con los clientes y experimentar el producto *en su ambiente* de uso real. Sin esta experiencia directa es poco probable que los compromisos técnicos se resuelvan correctamente, que jamás se encuentren soluciones innovadoras a las necesidades del cliente, además de que el grupo de desarrollo no desarrollará un compromiso profundo para satisfacer las necesidades del cliente.

El proceso de identificar las necesidades del cliente es parte integral del proceso de desarrollo del producto y está más estrechamente relacionado con la generación de conceptos, la selección del concepto, la comparación contra productos de la competencia y el establecimiento de especificaciones del producto. La actividad de identificación de las necesidades del cliente se ilustra en la figura 5-2 en relación con estas otras actividades iniciales de desa-

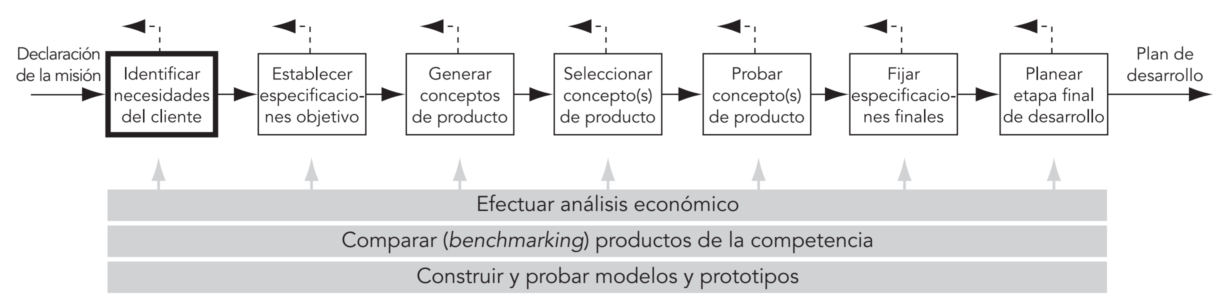


FIGURA 5-2 Actividad de identificación de las necesidades del cliente en relación con otras actividades de desarrollo del concepto.

rrollo del producto, que de manera colectiva se pueden ver como la fase de *desarrollo del concepto.*

El proceso de desarrollo del concepto ilustrado en la figura 5-2 implica una distinción entre necesidades del cliente y especificaciones del producto; esta distinción es sutil pero importante. Las *necesidades* son independientes de cualquier producto particular que pudiéramos desarrollar; no son específicas del concepto que en última instancia perseguimos. Un grupo debe ser capaz de identificar las necesidades de un cliente sin saber si finalmente resolverá esas necesidades y en qué forma. Por otra parte, las *especificaciones* dependen del concepto que seleccionemos. Las especificaciones para el producto que escogemos desarrollar dependerán de lo que sea técnica y económicamente factible y de lo que nuestros competidores ofrezcan en el mercado, así como de las necesidades del cliente. (Vea en el capítulo 6, Especificaciones del producto, un examen más detallado de esta distinción.) También nótese que elegimos usar la palabra *necesidad* para marcar cualquier atributo de un potencial producto que es deseado por el cliente; no distinguimos aquí entre un deseo y una necesidad. Otros términos empleados en la práctica industrial para referirse a necesidades del cliente incluyen *atributos del cliente* y *requisitos del cliente.*

Identificar las necesidades del cliente es en sí un proceso para el cual presentamos un método de cinco pasos. Pensamos que una estructura pequeña llega lejos para facilitar prácticas efectivas de desarrollo de un producto y esperamos que este método sea visto por quienes lo empleen no como un proceso rígido sino más bien como punto de partida para una mejora continua y refinamiento. Estos cinco pasos son:

1. Recopilar datos sin procesar de los clientes.
2. Interpretar los datos sin procesar en términos de las necesidades de clientes.
3. Organizar las necesidades en una jerarquía de necesidades primarias, secundarias y, de ser necesario, terciarias.
4. Establecer la importancia relativa de las necesidades.
5. Reflexionar en los resultados y el proceso.

Tratamos cada uno de los cinco pasos por turno e ilustramos los puntos clave con el ejemplo del desarmador inalámbrico. Escogimos el desarmador porque es lo bastante sencillo como para que el método no se pierda en la complejidad del ejemplo. No obstante, nótese que el mismo método, con adaptaciones menores se ha aplicado con éxito a cientos de productos que van desde utensilios de cocina que cuestan menos de 10 dólares hasta máquinas herramienta que cuestan cientos de miles de dólares.

Antes de empezar el proyecto de desarrollo, la empresa por lo general especifica una oportunidad particular de mercado y establece las restricciones y objetivos generales para el proyecto. Es frecuente que esta información se formalice como la *declaración de la misión* (a veces también llamada *carta* o *reporte de diseño*). La declaración de la misión especifica en qué dirección ir, pero por lo general no especifica un destino preciso o una forma particular de avanzar. La declaración de la misión es el resultado de las actividades de planeación del producto descritas en el capítulo 4, Planeación del producto. La declaración de la misión para el desarmador inalámbrico se ilustra en la figura 5-3.

La categoría de productos, como el desarmador inalámbrico, ya está relativamente bien desarrollada. Estos productos están adaptados especialmente con base en un proceso estructurado para captar las necesidades del cliente. De modo razonable cabría preguntarse si un método estructurado es efectivo para categorías de productos completamente nuevos con los cua-

FIGURA 5-3 Declaración de la misión para el desarmador inalámbrico.

Declaración de la misión: Proyecto de desarmador	
Descripción del producto	• Herramienta manual, eléctrica, para instalar sujetadores roscados
Propuesta de valor	• Introduce tornillos con más rapidez y menos esfuerzo que a mano
Metas clave de negocio	• Producto introducido en el cuarto trimestre de 2010 • 50% de margen bruto • 10% de participación del mercado de desarmadores inalámbricos para 2012
Mercado primario	• Consumidor "hágalo usted mismo"
Mercados secundarios	• Consumidor casual • Profesional de tareas ligeras
Suposiciones	• Manual • Eléctrico • Tecnología de pila recargable de níquel-metal-hidruro
Involucrados	• Usuario • Minorista • Fuerza de ventas • Centro de servicio • Producción • Departamento legal

les los clientes no tienen experiencia. Satisfacer necesidades es tan importante en productos revolucionarios como en productos incrementales. Una condición necesaria para el éxito de un producto es que éste ofrezca beneficios percibidos por el cliente. Los productos ofrecen beneficios cuando satisfacen necesidades. Esto es cierto si el producto es una variación incremental sobre un producto existente o si es un producto completamente nuevo basado en una invención revolucionaria. Desarrollar una categoría de productos totalmente nueva es una empresa riesgosa y, en alguna medida, la única indicación real de si las necesidades del cliente han sido identificadas correctamente es si a los clientes les gustan los primeros prototipos del equipo. No obstante, en nuestra opinión, un método estructurado para recabar la información de los clientes sigue siendo útil y puede reducir el riesgo inherente al desarrollar un producto radicalmente nuevo. Independientemente de si los clientes pueden o no articular por completo sus necesidades latentes, la interacción con clientes en el mercado objetivo ayudará al grupo de desarrollo a construir un entendimiento personal del entorno y punto de vista del usuario. Esta información es siempre útil, incluso cuando no resulta en la identificación de cada una de las necesidades que resolverá el nuevo producto.

Paso 1: Recopilar datos sin procesar de los clientes

Congruente con nuestra filosofía básica de generar un canal de información de alta calidad directamente con el cliente, recopilar datos involucra el contacto con clientes y experimentar en el ambiente de uso del producto. Por lo general se usan tres métodos:

1. ***Entrevistas:*** Uno o más miembros del grupo de desarrollo examina las necesidades con un solo cliente. En general, las entrevistas se efectúan en el ambiente del cliente y normalmente duran de una a dos horas.
2. ***Grupos de enfoque (focus groups):*** Un moderador facilita un análisis de dos horas con un grupo de ocho a 12 clientes. Los grupos de enfoque suelen reunirse en una sala especial equipada con un espejo de dos vistas que permite que diversos miembros del grupo de desarrollo observen en forma no intrusiva al grupo. Casi siempre el moderador es un investigador profesional de mercados, pero a veces lo es un miembro del grupo de desarrollo. Las minutas se graban en video y los participantes suelen recibir un pago modesto por su asistencia (50 a 100 dólares cada uno). El costo total de un grupo de enfoque, incluyendo renta de la sala, pagos a participantes, grabación en video y refrigerios, es de unos 5 000 dólares. En casi todas las ciudades de Estados Unidos, las empresas que reclutan participantes, moderan grupos de enfoque y/o rentan instalaciones aparecen en el directorio bajo "Investigación de mercado".
3. ***Observar el producto en uso:*** Observar clientes que usan un producto existente o realizan un trabajo para el cual un nuevo producto está destinado, puede revelar detalles importantes acerca de las necesidades del cliente. Por ejemplo, un cliente que pinta una casa puede usar un desarmador para abrir latas de pintura además de introducir tornillos. La observación puede ser pasiva por completo, sin ninguna interacción directa con el cliente o puede comprender trabajar junto al cliente, permitiendo que los miembros del grupo de desarrollo generen una experiencia de primera mano usando el producto. En el ideal, los miembros del grupo observan el producto en ambiente de uso real. Por su parte, Procter & Gamble observa a miles de clientes por año en sus hogares o lugares de trabajo para comprender mejor sus necesidades. Para algunos productos, por ejemplo las herramientas de "hágalo usted mismo", usar los productos es sencillo y natural; para otros, por ejemplo instrumentos quirúrgicos, el grupo puede tener que usar los productos en objetos sustitutos (por ejemplo, cortar fruta en lugar de tejido humano cuando se desarrolle un nuevo escalpelo).

Algunos practicantes también se apoyan en encuestas escritas para recolectar información sin procesar. Mientras que una encuesta por correo o basada en la Web es muy útil más adelante en el proceso, no podemos recomendar este método para trabajos iniciales de identificación de las necesidades de los clientes; las encuestas por escrito simplemente no proporcionan información suficiente acerca del ambiente de uso del producto, y por lo general no son eficientes para revelar necesidades no anticipadas.

Una investigación de Griffin y Hauser muestra que un grupo de enfoque de dos horas revela aproximadamente el mismo número de necesidades que dos entrevistas de una hora (Griffin y Hauser, 1993). (Vea la figura 5-4.) Debido a que las entrevistas suelen ser menos costosas (por hora) que los grupos de enfoque y a que una entrevista a veces permite que el grupo de desarrollo del producto experimente el ambiente de uso del producto, recomendamos que las entrevistas sean el método principal para recabar información. Las entrevistas pueden complementarse con uno o dos grupos de enfoque a modo de permitir que la alta administración observe a un grupo de clientes o como mecanismo para compartir la experiencia de un cliente común (mediante video) con los miembros de un grupo más grande. Algunos practicantes piensan que para ciertos productos y grupos de clientes, las interacciones entre los participantes de grupos de enfoque pueden obtener necesidades más variadas de las que se descubren por medio de entrevistas, aun cuando esta creencia no está fuertemente apoyada por hallazgos de investigación.

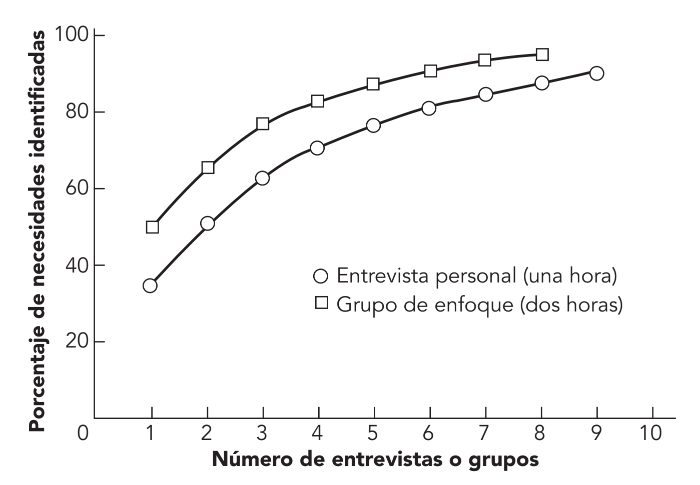


FIGURA 5-4 Comparación de los porcentajes de necesidades de clientes que se revelan para grupos de enfoque y entrevistas como función del número de sesiones. Nótese que un grupo de enfoque dura dos horas, mientras que una entrevista dura una hora.

Fuente: Griffin y Hauser, 1993.

Selección de clientes

Griffin y Hauser también abordaron la pregunta de cuántos clientes entrevistar para descubrir la mayoría de las necesidades de los clientes. En un estudio, estimaron que 90% de las necesidades de los clientes de hieleras para días de campo fueron reveladas después de 30 entrevistas. En otro estudio, estimaron que 98% de las necesidades de clientes para una pieza de equipo de oficinas fueron reveladas después de 25 horas de recolección de datos en grupos de enfoque y entrevistas. Como directriz práctica para casi todos los productos, es muy probable que realizar menos de 10 entrevistas sea inadecuado y que 50 sean demasiadas. No obstante, las entrevistas se pueden efectuar de manera secuencial y el proceso se puede terminar cuando no se descubran nuevas necesidades con más entrevistas. Estas directrices se aplican a casos en los que el grupo de desarrollo esté abordando un solo segmento de mercado. Si el grupo desea reunir necesidades de los clientes de segmentos diversos, entonces puede que el equipo necesite 10 o más entrevistas en cada segmento. Los grupos de desarrollo de concepto formados por más de 10 personas, generalmente captan información de numerosos clientes simplemente con hacer intervenir a muchos del grupo en el proceso. Por ejemplo, si un grupo de 10 personas se divide en cinco pares y cada par realiza seis entrevistas, el equipo realiza 30 entrevistas en total.

Las necesidades se pueden identificar de manera más eficiente al entrevistar a *usuarios líderes* y/o usuarios extremos. De acuerdo con Von Hippel, los usuarios líderes son los que presentan necesidades con meses o años antes que la mayor parte del mercado y están alertas a beneficiarse sustancialmente de innovaciones del producto (Von Hippel, 1988). Estos clientes son fuentes de datos particularmente útiles por dos razones: (1) con frecuencia pueden articular sus necesidades emergentes, porque han tenido que luchar con lo inadecuado de productos existentes, y (2) pueden ya haber inventado soluciones para satisfacer sus necesidades. Al enfocar una parte del trabajo de recolección de datos en usuarios líderes, el grupo puede identificar necesidades que, aun cuando explícitas para usuarios líderes, todavía son latentes para casi todo el mercado. Desarrollar productos para satisfacer estas necesidades latentes permite a una empresa anticiparse a tendencias y adelantarse a productos de la competencia.

Los usuarios extremos son aquellos que usan el producto en formas poco comunes o que tienen necesidades especiales. Por ejemplo, los usuarios extremos del desarmador pueden ser aquellos que tienen debilidades visuales, destreza limitada o usan la herramienta profesionalmente todos los días. Los usuarios extremos pueden ayudar al grupo a identificar necesidades que se pueden captar en forma menos aguda por el mercado principal, pero que sin embargo son importantes para obtener una ventaja competitiva. Por ejemplo, el empresario Sam Farber creó el pelador de verduras Good Grips en respuesta a las necesidades de su esposa quien sufría de artritis. Las necesidades excepcionales de ella resultaron ser un reflejo de la necesidad latente de utensilios de cocina más ergonómicos entre usuarios líderes.

La selección de los clientes a entrevistar se complica cuando grupos diferentes de personas pueden considerarse como “el cliente”. Para numerosos productos, una persona (el comprador) toma la decisión de comprar y otra (el usuario) es la que en realidad utiliza el producto. Un buen método es reunir datos del usuario final del producto en todas las situaciones, y en casos donde otros tipos de clientes e involucrados son claramente importantes, reunir información de estas personas también está bien.

Una matriz de selección de cliente es útil para planear la exploración de mercado y variedad de clientes. Burchill sugiere que los segmentos de mercado se enlisten en el lado izquierdo de la matriz, mientras que los tipos diferentes de clientes se pongan en lista en sentido horizontal en la parte superior (Burchill *et al.*, 1997), como se ve en la figura 5-5. El número de contactos de clientes que se pretende se introduce en cada celda para indicar la profundidad de la cobertura.

Para productos industriales y comerciales, localizar clientes suele ser una simple cuestión de hacer llamadas telefónicas o enviar cibermensajes. Al desarrollar esos productos dentro de una empresa existente, un grupo de vendedores de campo puede a veces dar nombres de clientes, aun cuando el grupo debe tener cuidado de no sesgar la selección de clientes hacia aquéllos con preferencia a un fabricante particular. La Web o guía telefónica puede usarse para identificar nombres de algunos tipos de clientes para ciertas clases de productos (por ejemplo, contratistas de construcciones o agentes de seguros). Para productos que son integrales al trabajo de un cliente, hacer que alguien acepte una entrevista suele ser sencillo; estos clientes están ansiosos por hablar de sus necesidades. Para productos de consumo, también se pueden localizar clientes con llamadas telefónicas o informes por correo electrónico. No obstante, arreglar una serie de entrevistas para productos de consumo suele requerir más informes que para productos industriales o comerciales porque el beneficio de participar en una entrevista es menos directo para estos clientes.

El arte de obtener datos de las necesidades del cliente

Las técnicas que presentamos aquí se usan básicamente en las entrevistas a usuarios finales, pero estos métodos aplican a los tres modos de reunir información y a todos los tipos de involucrados. El método básico es ser receptivo a información proporcionada por clientes, y evitar confrontaciones o actitudes defensivas. Reunir información de necesidades es muy diferente de una llamada de ventas: el objetivo es obtener una expresión honesta de necesidades, no convencer a un cliente de lo que necesita. En casi todos los casos, las interacciones con clientes serán verbales; los entrevistadores hacen preguntas y el cliente responde. Una guía de entrevista ya preparada es valiosa para estructurar este diálogo. Algunas preguntas y sugerencias útiles para usar después que los entrevistadores se presenten y expliquen el propósito de la entrevista son:

- ¿Cuándo y por qué usa usted este tipo de producto?
- ¿Podemos ver una sesión típica en la que use el producto?

<table>
<tr><th></th><th>Usuarios líderes</th><th>Usuarios</th><th>Minorista o punto de venta</th><th>Centros de servicio</th></tr>
<tr><td>Propietario de casa (uso ocasional)</td><td>0</td><td>5</td><td rowspan="2">2</td><td rowspan="3">3</td></tr>
<tr><td>Persona hábil (uso frecuente)</td><td>3</td><td>10</td></tr>
<tr><td>Profesional (uso rudo)</td><td>3</td><td>2</td><td>2</td></tr>
</table>

FIGURA 5-5 Matriz de selección de clientes para el proyecto del desarmador inalámbrico.

- ¿Qué le gusta de los productos existentes?
- ¿Qué le disgusta de los productos existentes?
- ¿Qué problemas considera usted cuando compra el producto?
- ¿Qué mejoras haría al producto?

A continuación veamos algunas sugerencias generales para una efectiva interacción con clientes:

- ***Ir con la corriente.*** Si el cliente está proporcionando información útil, no se preocupe por apegarse a la guía de entrevistas. El objetivo está en reunir información importante sobre las necesidades del cliente, no completar la guía de entrevistas en el tiempo asignado.
- ***Use estímulos y apoyos visuales.*** Lleve consigo un lote de productos existentes tanto de su empresa como de la competencia, incluso productos que estén relacionados de manera tangible con el producto que se desarrolla. Al final de la sesión, los entrevistadores podrían hasta mostrar algunos conceptos preliminares del producto para ver las primeras reacciones de clientes a varias ofertas.
- ***Suprima hipótesis preconcebidas de la tecnología del producto.*** Es frecuente que los clientes hagan suposiciones acerca del concepto del producto que esperan satisfaga sus necesidades. En estas situaciones, los entrevistadores deben evitar sesgar la conversación con suposiciones de cómo se diseñará o producirá el producto. Cuando los clientes mencionen tecnologías específicas o características del producto, el entrevistador debe explorar la necesidad básica que el cliente piensa que la solución sugerida va a satisfacer.
- ***Haga que el cliente le demuestre el producto y/o trabajos típicos relacionados con éste.*** Si la entrevista se realiza en el ambiente de uso, en general una demostración es conveniente e invariablemente revela más información.
- ***Esté alerta a sorpresas y a la expresión de necesidades latentes.*** Si un cliente menciona algo sorprendente, siga la dirección con preguntas de seguimiento. Con frecuencia, una línea inesperada de preguntas revelará *necesidades latentes*, es decir, dimensiones importantes de las necesidades de clientes que no se han satisfecho, ni expresado o entendido.
- ***Esté atento a información no verbal.*** El proceso descrito en el capítulo está destinado a desarrollar mejores productos físicos. Desafortunadamente, las palabras no siempre son la mejor forma de comunicar necesidades relacionadas con el mundo físico. Esto es cierto, especialmente cuando las necesidades comprenden las dimensiones humanas del producto; por ejemplo, comodidad, imagen o estilo. El grupo de desarrollo debe estar siempre atento a los mensajes no verbales proporcionados por los clientes. ¿Cuáles son sus expresiones faciales? ¿Cómo ven los productos de la competencia?

Observe que muchas de nuestras preguntas y directrices sugeridas suponen que el cliente tiene alguna familiaridad con productos semejantes al nuevo producto en desarrollo. Esto siempre es cierto. Por ejemplo, incluso antes que existiera el primer desarmador inalámbrico, los usuarios instalaban tornillos. Desarrollar y entender necesidades del cliente en lo que respecta al trabajo general de sujetar todavía, hubiera sido benéfico para desarrollar la primera herramienta inalámbrica. Del mismo modo, entender las necesidades de clientes que usan otros tipos de aparatos inalámbricos, por ejemplo máquinas de afeitar eléctricas, también hubiera sido útil. No podríamos pensar en un producto tan revolucionario si no hubiera productos análogos o trabajos de los que el grupo de desarrollo pudiera aprender. Con todo, al reunir necesidades respecto a productos verdaderamente revolucionarios con los que los clientes no tienen experiencia, las preguntas de las entrevistas deben enfocarse al trabajo o situación en que el nuevo producto se aplicará y no al producto mismo.

Documentar las interacciones con clientes

En general se emplean cuatro métodos para documentar las interacciones con clientes:

1. ***Grabación de audio:*** Hacer una grabación de audio en la entrevista es muy fácil. Desafortunadamente, transcribir la grabación a texto es un trabajo lento y contratar a alguien que lo haga puede ser costoso. Del mismo modo, una grabación de audio tiene la desventaja de ser intimidatoria para algunos clientes.
2. ***Notas:*** Las notas manuscritas son el método más común de documentar una entrevista. Designar una persona como apuntador permite a otra concentrarse en hacer preguntas eficaces. El apuntador debe esforzarse por captar las palabras precisas de cada frase del cliente. Estas notas, si se transcriben de inmediato después de la entrevista, se pueden usar para crear una descripción de la entrevista que sea muy cercana a una transcripción real. Este intercambio de impresiones después de la entrevista también facilita compartir ideas entre los entrevistadores.
3. ***Grabación de video:*** Una grabación de video se usa casi siempre para documentar una sesión del grupo de enfoque. También es muy útil para documentar observaciones del cliente en el ambiente de uso y/o el uso de productos existentes. La grabación en video es útil para "acelerar" nuevos miembros del equipo y como materia prima para presentaciones a la alta administración. Es frecuente, después de ver varias veces las grabaciones de clientes en acción, que se facilite la identificación de necesidades latentes de clientes. Una grabación de video también es útil para captar muchos aspectos del ambiente del usuario final.
4. ***Fotografía fija:*** Tomar fotografías produce muchos beneficios en grabaciones de video. Las ventajas principales de la fotografía fija son la facilidad de exhibición de las fotos, excelente calidad de imagen y equipo fácilmente disponible. La principal desventaja es la relativa incapacidad de registrar información dinámica.

El resultado final de la fase de captura de información del proceso es un conjunto de datos sin procesar, por lo general en forma de *enunciados del cliente*, pero que con frecuencia se complementa con grabaciones de video o fotografías. Un modelo de datos implementado en una hoja de cálculo es útil para organizar esta información sin procesar. La figura 5-6 es un ejemplo de una parte de ese modelo. Recomendamos que el modelo se llene tan pronto como sea posible después de la interacción con el cliente y sea editado por los otros miembros del grupo de desarrollo presentes durante la interacción. La primera columna del cuerpo principal del modelo indica la pregunta o sugerencia que obtuvo la información del cliente. La segunda columna es una lista de declaraciones del cliente o una observación de la acción de un cliente (de una grabación de video u observación directa). La tercera columna contiene las necesidades del cliente insinuadas por la información sin procesar. Deben destacarse los indicios que puedan identificar potenciales necesidades latentes. Estos indicios pueden ser en forma de observaciones humorísticas, sugerencias menos serias, frustraciones, información no verbal u observaciones y descripciones del ambiente de uso. El símbolo (!) se usa en la figura 5-6 para indicar necesidades potenciales. Las técnicas para interpretar datos sin procesar en términos de necesidades del cliente se dan en la sección siguiente.

El trabajo final del paso 1 es escribir notas de agradecimiento a los clientes que participaron en el proceso. Invariablemente, el grupo necesitará solicitar más información del cliente, de modo que es importante desarrollar y mantener buenas relaciones con los usuarios.

Cliente:	Bill Esposito	**Entrevistador(es):**	Jonathan y Lisa
Dirección:	100 Memorial Drive Cambridge, MA 02139	**Fecha:**	19 de diciembre, 2010
Teléfono:	617-864-1274	**Actualmente usa:**	Craftsman Modelo A3
¿Dispuesto a otra llamada?	Sí	**Tipo de usuario:**	Mantenimiento de edificios

Pregunta/ sugerencia	**Enunciado del cliente**	**Necesidad interpretada**
Usos típicos	Necesito meter tornillos muy rápido, más que a mano.	El SD mete tornillos más rápido que a mano.
	A veces trabajo con ductos; uso tornillos para lámina metálica.	El SD mete tornillos para lámina metálica en ductos.
	Trabajo con mucho equipo eléctrico; tapas de interruptores, tomacorrientes, ventiladores, aparatos de cocina.	El SD puede usarse para colocar tornillos en aparatos eléctricos.
Le gusta: herramienta actual	Me gusta el agarre de la pistola; se siente muy bien.	El SD es cómodo al sujetarlo.
	Me gusta la punta imantada.	La punta del SD retiene el tornillo en su lugar hasta meterlo.
No le gusta: herramienta actual	No me gusta cuando la punta resbala del tornillo.	La punta del SD permanece alineada con la cabeza del tornillo sin resbalarse.
	Me gustaría bloquearlo para usarlo sin batería, manualmente.	El usuario puede aplicar torsión manualmente al SD para meter un tornillo. (!)
	No puedo meter tornillos en madera dura.	El SD puede meter tornillos en madera dura.
	A veces se barren los tornillos muy difíciles de meter.	El SD no barre las cabezas de los tornillos.
Mejoras sugeridas	Un aditamento que me permita llegar a agujeros delgados.	El SD puede llegar a los tornillos al final de agujeros profundos y de pequeño diámetro.
	Una punta para que pueda raspar pintura de tornillos.	El SD permite al usuario trabajar con tornillos que se hayan pintado.
	Sería bueno que pudiera perforar un orificio guía.	El SD puede usarse para crear un orificio guía. (!)

FIGURA 5-6 Plantilla de datos del cliente llenada con declaraciones de éste y necesidades interpretadas. SD es una abreviatura para desarmador. (Nótese que este modelo representa una lista parcial de una sola entrevista. Una sesión típica de entrevista puede resultar en más de 50 enunciados del cliente y necesidades interpretadas.)

Paso 2: Interpretar datos sin procesar en términos de necesidades de los clientes

Las necesidades de los clientes se expresan como enunciados escritos y son el resultado de interpretar la necesidad que hay bajo los datos reunidos de los usuarios sin procesar. Cada frase

u observación (como aparece en la segunda columna del modelo de datos) puede traducirse en cualquier número de necesidades del cliente. Griffin y Hauser hallaron que muchos analistas pueden traducir las notas de la misma entrevista en diferentes necesidades, de modo que es conveniente y muy útil que más de un miembro del equipo conduzca el proceso de traducción. A continuación veremos cinco reglas para escribir enunciados de necesidades. Las dos primeras son fundamentales y críticas para una eficiente traducción; las tres restantes aseguran consistencia de frases y estilo en todos los miembros del equipo. La figura 5-7 proporciona ejemplos para ilustrar cada directriz.

- ***Exprese la necesidad en términos de* lo que *el producto tiene que hacer, no en términos de cómo puede hacerlo.*** Es frecuente que los clientes expresen sus preferencias al describir un concepto de solución o un método de implementación; no obstante, el enunciado de necesidad debe expresarse en términos independientes de una solución tecnológica particular.
- ***Exprese la necesidad tan específicamente como la información originalmente recopilada.*** Las necesidades pueden expresarse en muchos niveles diferentes de detalles. Para evitar pérdida de información, exprese la necesidad al mismo nivel de detalle que la información sin procesar.
- ***Utilice enunciados en forma afirmativa, no en forma negativa.*** La traducción de una necesidad en una especificación de producto es más fácil si la necesidad se expresa como un enunciado positivo. Esto no es una directriz rígida, porque a veces los enunciados positivos

Directriz	Frase del cliente	Enunciado de necesidad: correcta	Enunciado de necesidad: incorrecta
"Qué" y no "cómo"	"¿Por qué no ponen blindaje protector alrededor de los contactos de la batería?"	La batería del desarmador está protegida contra cortos accidentales.	Los contactos de la batería del desarmador están cubiertos por una puerta corrediza de plástico.
Especificidad	"Siempre se me cae el desarmador."	El desarmador opera normalmente después de caídas repetidas.	El desarmador está corrugado.
Positiva, no negativa	"No importa si está lloviendo. Todavía necesito trabajar a la intemperie los sábados."	El desarmador opera normalmente en la lluvia.	El desarmador no se daña con la lluvia.
Un atributo del producto	"Me gustaría cargar mi batería desde el encendedor del coche."	La batería del desarmador se puede cargar en el encendedor de cigarrillos de un automóvil.	Un adaptador al encendedor de cigarrillos de un automóvil puede cargar la batería del desarmador.
Evitar "debe" y "debería"	"Odio cuando no sé cuánta carga queda en las baterías de mis herramientas inalámbricas."	El desarmador indica el nivel de energía de la batería.	El desarmador deberá indicar el nivel de energía de la batería.

FIGURA 5-7 Ejemplos que ilustran las reglas para escribir enunciados de necesidades.

son difíciles y engorrosos. Por ejemplo, uno de los enunciados de necesidad de la figura 5-6 es "el desarmador no barre cabezas de tornillos". Esta necesidad se expresa más naturalmente en forma negativa.

- ***Exprese la necesidad como atributo del producto.*** El texto de las necesidades, como enunciado acerca del producto, garantiza consistencia y facilita la subsiguiente traducción en especificaciones del producto. No todas las necesidades se pueden expresar limpiamente como atributos del producto; sin embargo, y en casi todos estos casos, las necesidades se pueden expresar como atributos del usuario del producto (por ejemplo, "el usuario puede aplicar torsión manualmente al desarmador para meter un tornillo").
- ***Evite las palabras* debe *y* debería.** Las palabras *debe* y *debería* implican un nivel de importancia para la necesidad. En lugar de asignar casualmente una calificación binaria de importancia (*debe* contra *debería*) a las necesidades en este punto, recomendamos aplazar la evaluación de la importancia de cada necesidad hasta el paso 4.

La lista de necesidades del cliente es el conjunto de todas las necesidades obtenidas de todos los clientes entrevistados del mercado objetivo. Algunas necesidades no pueden ser técnicamente realizables. Las restricciones de factibilidad técnica y económica se incorporan en el proceso de establecer especificaciones del producto en pasos subsiguientes del desarrollo. (Vea el capítulo 6, Especificaciones del producto.) En algunos casos, los clientes habrán expresado necesidades conflictivas. En este punto del proceso, el grupo no trata de resolver esos conflictos sino que simplemente documenta ambas necesidades. Decidir cómo manejar necesidades conflictivas es uno de los desafíos de las subsiguientes actividades de desarrollo del concepto.

Paso 3: Organizar las necesidades en una jerarquía

El resultado de los pasos 1 y 2 debe ser una lista de 50 a 300 *enunciados de necesidades.* Ese número tan alto de necesidades detalladas es difícil de resumir para usarse en actividades subsiguientes de desarrollo. La finalidad del paso 3 es organizar estas necesidades en una lista jerárquica. La lista por lo general estará formada por un conjunto de *necesidades primarias*, cada una de las cuales se caracterizará más con un conjunto de *necesidades secundarias.* En casos de productos muy complejos, las necesidades secundarias se pueden descomponer también en necesidades terciarias. Las necesidades primarias son las más generales, mientras que las secundarias y las terciarias expresan necesidades con mayor detalle. La figura 5-8 muestra la lista jerárquica resultante de necesidades para el ejemplo del desarmador. Para éste, hay 15 necesidades primarias y 49 más que son secundarias. Nótese que dos de las primarias no tienen necesidades secundarias asociadas.

El procedimiento para organizar las necesidades en una lista jerárquica es intuitivo y muchos equipos pueden completar con éxito la tarea sin instrucciones detalladas. No obstante, aquí presentamos un procedimiento paso a paso. Esta actividad se realiza mejor en una pared o mesa grande por un pequeño grupo de miembros del equipo.

1. ***Imprima o escriba cada frase de necesidad en una tarjeta separada o nota autoadhesiva.*** Los enunciados de necesidades se pueden escribir fácilmente con letra de molde grande en una tarjeta de manera directa desde la plantilla de datos. Una buena característica de este método es que la necesidad se puede imprimir en letra grande, en el centro de la tarjeta, y luego el enunciado original del cliente y otra información relevante se pueden

El SD cuenta con suficiente energía para meter tornillos.

* El SD mantiene su energía durante varias horas de uso rudo.
** El SD puede meter tornillos en madera dura.
El SD mete tornillos para lámina en ductos metálicos.
*** El SD mete tornillos más rápido que a mano.

El SD hace más fácil empezar a meter un tornillo.

* El SD retiene el tornillo en su lugar hasta meterlo.
*! El SD se puede usar para hacer un orificio guía.

El SD funciona con una amplia variedad de tornillos.

** El SD puede trabajar con tornillos de cabeza hexagonal, de cruz, Torx y Allen.
** El SD puede trabajar con tornillos de diverso tamaño.

El SD puede llegar a casi todos los tornillos.

El SD puede maniobrarse en lugares muy pequeños.
** El SD puede llegar a tornillos colocados al fondo de orificios profundos y angostos.

El SD gira tornillos que están en malas condiciones.

El SD se puede usar para quitar grasa y polvo de tornillos.
El SD permite al usuario trabajar con tornillos pintados.

El SD es cómodo para el usuario.

*** El SD es cómodo aun cuando el usuario hace presión sobre él.
*** El SD es cómodo cuando el usuario aplica torsión.
* El SD está balanceado en las manos del usuario.
! El SD es igualmente fácil de usar tanto para zurdos como para diestros.
El peso del SD es el correcto.
El SD se siente tibio en clima frío.
El SD permanece fresco aun cuando se deje al sol.

El SD es fácil de controlar al atornillar.

*** El usuario puede hacer fuerza fácilmente con el SD.
*** El usuario puede resistir fácilmente la torsión del SD.
El SD se puede “bloquear”.
**! La velocidad del SD puede ser controlada por el usuario al atornillar.
* El SD continúa alineado con la cabeza del tornillo sin resbalarse.
** El usuario puede fácilmente ver dónde está el tornillo al usar el SD.
* El SD no barre cabezas de tornillos.
* El SD es fácilmente reversible.

El SD es fácil de preparar y usar.

* El SD es fácil de prender.
* El SD impide que se apague inadvertidamente.
* El usuario puede establecer la máxima torsión en el SD.
*! El SD cuenta con boquillas o accesorios de fácil colocación.
* El SD se puede fijar al usuario para almacenamiento temporal.

La energía del SD es adecuada.

* El SD es fácil de recargarse.
El SD se puede usar al tiempo que se recarga.
*** El SD se recarga rápidamente.
Las baterías del SD están listas para usarse desde nuevas.
**! El usuario puede aplicar torsión manualmente al SD para meter un tornillo.

El SD tiene larga duración.

** La punta del SD resiste el uso rudo.
El SD se puede maltratar y sigue funcionando.
* El SD puede caerse desde una escalera sin dañarse.

El SD es fácil de guardar.

* El SD cabe fácilmente en una caja de herramientas.
** El SD se puede recargar estando guardado.
El SD es resistente a la corrosión aun cuando se deje a la intemperie o en lugares húmedos.
*! El SD mantiene su carga después de largos periodos de almacenamiento.
El SD mantiene su carga aunque esté húmedo.

El SD previene daños al trabajar.

* El SD impide dañar la cabeza de tornillos.
El SD impide ralladuras en superficies acabadas.

El SD tiene un sonido agradable cuando se usa.

El SD luce como una herramienta de calidad profesional.

El SD es seguro.

El SD se puede usar en aparatos eléctricos.
*** El SD no corta las manos del usuario.

FIGURA 5-8 Lista jerárquica de necesidades primarias y secundarias de un cliente para el desarmador inalámbrico. Las calificaciones de importancia para las necesidades secundarias están indicadas por el número de asteriscos; tres asteriscos denotan necesidades de importancia crítica. Las necesidades latentes están denotadas por el signo (!)

imprimir en letra más pequeña en la parte de abajo de la tarjeta para facilitar su consulta. Se pueden cortar cuatro tarjetas de una hoja estándar.

2. ***Elimine frases redundantes.*** Las tarjetas que expresen frases redundantes de necesidades se pueden engrapar y tratarse como una sola tarjeta. Tenga cuidado de comprimir sólo aquellas frases que sean idénticas en su significado.
3. ***Agrupe las tarjetas de acuerdo con la similitud de las necesidades que expresen.*** En este punto, el equipo debe tratar de crear grupos de tres a siete tarjetas que expresen necesidades semejantes. La lógica bajo la cual se crean grupos merece especial atención. Los equipos de desarrollo novatos a veces crean grupos de acuerdo con la perspectiva tecnológica, agrupando necesidades que se relacionan con materiales, empaque o potencia, por ejemplo. O bien, crean grupos de acuerdo con supuestos componentes físicos como caja, puntas, interruptor y batería. Estos dos métodos son riesgosos. Recuerde que el objetivo del proceso es crear una descripción de las necesidades del cliente. Por esta razón, las agrupaciones deben ser consistentes con la forma en que los clientes piensan sobre sus necesidades y no con el modo en que el equipo de desarrollo piensa acerca del producto. Los grupos deberían corresponder a las necesidades que los clientes verían como semejantes. De hecho, algunos practicantes usan un proceso en el que los clientes en realidad organizan las frases de necesidades.
4. ***Para cada grupo, escoja una etiqueta.*** La etiqueta es en sí misma un enunciado de necesidades que generaliza todas las necesidades del grupo. Se puede seleccionar de una de las necesidades del grupo o el equipo puede escribir un nuevo enunciado de necesidades.
5. ***Considere crear supergrupos formados de dos a cinco grupos.*** Si hay menos de 20 grupos, entonces es probable que una jerarquía de dos niveles sea suficiente para organizar los datos. En este caso, las etiquetas del grupo son necesidades primarias y los elementos del grupo son necesidades secundarias. No obstante, si hay más de 20 grupos, el equipo puede considerar crear supergrupos, y por lo tanto un tercer nivel en la jerarquía. El proceso de crear supergrupos es idéntico al proceso de crear grupos. Al igual que en el paso previo, reúna grupos de acuerdo con la similitud de la necesidad que expresan y luego cree o seleccione una etiqueta de supergrupo. Estas etiquetas de supergrupo son entonces las necesidades primarias, las etiquetas de grupo son las necesidades secundarias y los miembros de los grupos se convierten en necesidades terciarias.
6. ***Revise y edite los enunciados organizados de necesidades.*** No hay arreglo individual correcto de necesidades en una jerarquía. En este punto, el equipo puede desear considerar grupos o etiquetas alternativos y puede hacer que otro equipo sugiera arreglos alternativos.

El proceso es más complicado cuando el equipo trata de reflejar las necesidades de dos o más segmentos distintos del mercado. Hay al menos dos métodos que se pueden seguir para abordar este desafío. Primero, el equipo puede marcar la necesidad con el segmento (y posiblemente el nombre) del cliente de quien se obtuvo la necesidad. De esta forma, las diferencias en necesidades a través de segmentos se pueden observar de manera directa. Una técnica visual práctica para esta marcación es usar diferentes colores de papel para las tarjetas en que se escriben los enunciados de necesidades, con cada color correspondiente a un diferente segmento del mercado. El otro método para múltiples segmentos del mercado es efectuar el proceso de agrupación por separado para cada segmento del mercado. Con el uso de este método, el equipo puede observar diferencias en las necesidades y en las formas en que estas necesidades se organizan mejor. Recomendamos que el equipo adopte este método paralelo e indepen-

diente cuando los segmentos sean muy diferentes en sus necesidades y cuando haya alguna duda acerca de la capacidad del equipo para abordar los diferentes segmentos con el mismo producto.

Paso 4: Establecer la importancia relativa de las necesidades

La lista jerárquica por sí sola no da ninguna información sobre la importancia relativa que los clientes ponen en diferentes necesidades. Aun así, el equipo de desarrollo tendrá que hacer concesiones y asignar recursos al diseñar el producto. Un sentido de la importancia relativa de las diversas necesidades es esencial para hacer estas concesiones de manera correcta. El paso 4 en el proceso de necesidades establece la importancia relativa de las necesidades del cliente identificadas en los pasos 1 a 3. El resultado de este paso es una valoración numérica de importancia para un subconjunto de las necesidades. Hay dos métodos básicos para el trabajo: (1) apoyarse en el consenso de los miembros del grupo con base en su experiencia con clientes o (2) basar la evaluación de importancia en más encuestas con clientes. La concesión obvia entre los dos métodos es costo y velocidad contra precisión: el equipo puede hacer una evaluación educada de la importancia relativa de las necesidades en una sesión, mientras que una encuesta a clientes por lo general toma un mínimo de dos semanas. En casi todos los casos pensamos que la encuesta con clientes es importante y merece el tiempo necesario para completarla. Otros trabajos de desarrollo, por ejemplo generación de conceptos y análisis de productos competitivos, pueden empezar antes de que se completen las encuestas de importancia relativa.

En este punto el equipo debe haber desarrollado una relación con un grupo de clientes. Estos mismos clientes pueden ser encuestados para calificar la importancia relativa de las necesidades que se hayan identificado. La encuesta se puede hacer en persona, por teléfono, vía internet o por correo electrónico. Pocos clientes responderán una encuesta donde se les pida evaluar la importancia de 100 necesidades, de manera que por lo general el equipo trabajará con sólo un subconjunto de las necesidades. Un límite práctico sobre cuántas necesidades se puedan manejar en una encuesta a clientes es alrededor de 50. Este límite no es demasiado severo, no obstante, porque muchas de las necesidades son obviamente importantes (por ejemplo, el desarmador cabe con facilidad en una caja de herramientas) o son fáciles de llevar a la práctica (por ejemplo, el desarmador impide apagarse de manera inadvertida). El equipo puede, por lo tanto, limitar el alcance de la encuesta al preguntar a los clientes sólo acerca de necesidades que probablemente den lugar a concesiones técnicas difíciles o funciones costosas en el diseño del producto. Estas necesidades incluirían la necesidad de variar la velocidad, la necesidad de meter tornillos en madera dura, y la necesidad de hacer que el desarmador emita un sonido agradable. De manera alternativa, el equipo podría desarrollar un conjunto de encuestas para preguntar a varias clases de clientes sobre diferentes subconjuntos de la lista de necesidades. Hay muchos diseños de encuestas para establecer la importancia relativa de necesidades de clientes. Un buen diseño se ilustra mediante la encuesta sobre la parte del desarmador inalámbrico de la figura 5-9. Además de preguntar las calificaciones de importancia, esta encuesta pide a quienes respondan que identifiquen de manera explícita las necesidades que son únicas o inesperadas. Esta información se puede usar para ayudar al equipo a identificar necesidades latentes.

Encuesta del desarmador inalámbrico

Para cada una de las siguientes funciones del desarmador inalámbrico, por favor indique en una escala de 1 a 5 qué tan importante es esa función para usted. Por favor use la siguiente escala:

1. La función es indeseable. No consideraría un producto con esta función.
2. La función no es importante, pero no me importaría tenerla.
3. Sería bueno tener esa función, pero no es necesaria.
4. La función es altamente deseable, pero consideraría un producto sin ella.
5. La función es de importancia crítica. No consideraría un producto sin esta función.

También indique, con una marca en la caja de la derecha, si piensa usted que la función es única, interesante y/o inesperada.

Importancia de la función en escala de 1 a 5.		Marque una caja si la función es única, interesante y/o inesperada.
______	El desarmador conserva energía durante varias horas de uso pesado.	❏
______	El desarmador puede meter tornillos en madera dura.	❏
______	La velocidad del desarmador puede ser controlada por el usuario al atornillar.	❏
______	El desarmador tiene un sonido agradable cuando está en uso.	❏

Y así sucesivamente.

FIGURA 5-9 Ejemplo (parcial) de encuesta de importancia.

Las respuestas de la encuesta para cada enunciado de necesidad se pueden caracterizar en varias formas: por la media, por la desviación estándar o por el número de respuestas en cada categoría. Las respuestas se pueden usar después para asignar un valor de importancia a las declaraciones de necesidad. La misma escala de 1 a 5 se puede usar para resumir la información de importancia. Las necesidades de la figura 5-8 se califican de acuerdo con los datos de la encuesta, con las calificaciones de importancia denotadas por el número de asteriscos junto a cada enunciado de necesidad y las necesidades latentes denotadas por (!). Nótese que las necesidades no críticas también son necesidades latentes. Esto es porque si una necesidad fuera crítica, los clientes no se sorprenderían o no mostrarían interés por ello; esperarían que se satisficiera.

Paso 5: Reflexionar en los resultados y el proceso

El paso final en el método es reflexionar en los resultados y el proceso. Mientras el proceso de identificar necesidades de clientes se puede estructurar con utilidad, no es una ciencia exacta. El equipo debe desafiar sus resultados para verificar que sean consistentes con el conocimiento e intuición que ha desarrollado a través de muchas horas de interacción con clientes. Algunas preguntas a realizar son:

- ¿Hemos interactuado con todos los tipos importantes de clientes en nuestro mercado objetivo?
- ¿Somos capaces de ver más allá de las necesidades relacionadas sólo con productos existentes para captar las necesidades latentes de nuestros clientes objetivo?

- ¿Hay aspectos no definidos que exploraríamos en entrevistas de seguimiento o en encuestas?
- ¿Cuáles de los clientes con quienes hablamos serían buenos participantes en nuestro trabajo actual de desarrollo?
- ¿Qué sabemos ahora que no sabíamos cuando empezamos? ¿Estamos sorprendidos por cualquiera de las necesidades?
- ¿Involucramos a todo aquél dentro de nuestra organización que necesite entender a fondo las necesidades del cliente?
- ¿Cómo podríamos mejorar el proceso en futuros trabajos?

Resumen

Identificar las necesidades de clientes es parte integral de la fase del desarrollo del proceso de desarrollo del producto. Las necesidades del cliente que resulten se usan para guiar al equipo en establecer especificaciones del producto, generar conceptos del producto y seleccionar un concepto de producto para su posterior desarrollo.

- El proceso de identificar necesidades del cliente incluye cinco pasos:
  1. Reunir datos sin procesar, dados por clientes.
  2. Interpretar los datos sin procesar en términos de las necesidades de clientes.
  3. Organizar las necesidades en una jerarquía.
  4. Establecer la importancia relativa de las necesidades.
  5. Reflejar en los resultados y el proceso.
- Crear un canal de información de alta calidad, de clientes a desarrolladores del producto, asegurar que quienes de manera directa controlan los detalles del producto, incluyendo los diseñadores del producto, entiendan a fondo las necesidades del cliente.
- Los usuarios líderes son una buena fuente de necesidades del cliente porque experimentan nuevas necesidades, con meses o años de anticipación a casi todos los clientes, y porque están alerta para beneficiarse de manera sustancial de las innovaciones del nuevo producto. Además, con frecuencia pueden articular sus necesidades con más claridad que los clientes típicos. Los usuarios extremos tienen necesidades especiales que pueden reflejar necesidades latentes entre usuarios generales.
- Las necesidades latentes pueden ser incluso más importantes que las explícitas al determinar la satisfacción del cliente. Las necesidades latentes son aquellas que muchos clientes reconocen como importantes en un producto final, pero que no pueden articular por anticipado.
- Las necesidades de los clientes deben ser expresadas en términos de lo que el producto tiene que hacer, no en términos de cómo podrían incorporarse al producto. Apegarse a este principio deja al grupo de desarrollo con máxima flexibilidad para generar y seleccionar conceptos de productos.
- Los beneficios clave del método son: asegurar que el producto se enfoque en las necesidades de los clientes y que no se olvide ninguna necesidad de importancia crítica para el cliente; desarrollar un claro entendimiento, entre miembros del equipo de desarrollo, de las necesidades de los clientes en el mercado objetivo; desarrollar una base de datos para usarse al generar conceptos, seleccionar un concepto de producto y establecer especifica-

ciones de productos, y crear un registro de archivo de la fase de necesidades del proceso de desarrollo.

Referencias y bibliografía

Existen numerosos recursos actuales en internet **www.ulrich-eppinger.net**

Ingeniería de conceptos es un método desarrollado por Burchill en el MIT, en colaboración con el Center for Quality of Management. Este capítulo se beneficia de nuestras observaciones del desarrollo y aplicación de ingeniería de conceptos. Para una completa y detallada descripción de ingeniería de conceptos, vea:

Burchill, Gary, *et al*., *Concept Engineering,* Center for Quality of Management, Cambridge, MA, Document No. ML0080, 1997.

La investigación de Griffin y Hauser valida diferentes métodos para extraer necesidades a partir de datos de entrevistas. Su estudio de la fracción de necesidades identificadas como función del número de clientes entrevistados es particularmente interesante.

Griffin, Abbie, y John R. Hauser, “The Voice of the Customer,” *Marketing Science,* Vol. 12, No. 1, Winter 1993, pp. 1-27.

Kinnear y Taylor examinaron a fondo los métodos de recolección de datos y diseño de encuestas.

Kinnear, Thomas C., y James R. Taylor, *Marketing Research: An Applied Approach,* quinta edición, McGraw-Hill, Nueva York, 1995.

Norman ha escrito extensamente sobre necesidades del usuario, en especial lo relacionado a los desafíos cognitivos de usar productos.

Norman, Donald A., *The Design of Everyday Things,* Doubleday, Nueva York, 1990.

El libro de Payne es un análisis detallado e interesante de cómo plantear preguntas en encuestas.

Payne, Stanley L., *The Art of Asking Questions*, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1980.

La gestión de calidad total (TQM) da una valiosa perspectiva sobre cómo la identificación de necesidades del cliente se ajusta en un trabajo total para mejorar la calidad de artículos y servicios.

Shiba, Shoji, Alan Graham, y David Walden, *A New American TQM: Four Practical Revolutions in Management,* Productivity Press, Cambridge, MA, y The Center for Quality of Management, Cambridge, MA, 1993.

Urban y Hauser hacen un examen a fondo de cómo crear jerarquías de necesidades (junto con muchos otros temas).

Urban, Glen L., y John R. Hauser, *Design and Marketing of New Products,* segunda edición, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993.

Von Hippel describe muchos años de investigación sobre el papel de usuarios líderes en innovación. Da útiles directrices para identificar usuarios líderes.

Von Hippel, Eric, *The Sources of Innovation,* Oxford University Press, Nueva York, 1988.

Ejercicios

1. Traduzca las siguientes declaraciones de clientes, acerca de una bolsa de libros para estudiante, en declaraciones de necesidades correctas:

a) “Mira cómo el cuero del fondo de la bolsa está todo arañado; es feo.”
b) “Cuando estoy en una fila de espera de cajero tratando de hallar mi chequera balanceando la bolsa en mis rodillas, me siento como grulla.”

c) "Esta bolsa es mi vida; si la pierdo estaré en grandes problemas."
d) "No hay nada peor que un plátano embarrado en el borde de un libro."
e) "Nunca uso ambas correas de mi mochila; simplemente las deslizo en un hombro."

2. Observe a alguien hacer un trabajo diario. (Idealmente, usted debe escoger un trabajo para el cual pueda observar diferentes usuarios realizando repetidas veces el trabajo.) Identifique frustraciones y dificultades halladas por estas personas. Identifique las necesidades latentes del cliente.

3. Escoja un producto que continuamente le moleste. Identifique las necesidades que olvidaron los desarrolladores de este producto. ¿Por qué piensa usted que estas necesidades no quedaron satisfechas? ¿Piensa usted que los desarrolladores deliberadamente pasaron por alto estas necesidades?

Preguntas de análisis

1. Una de las razones por las que el método es efectivo es que abarca a todo el equipo de desarrollo. Desafortunadamente, el método puede ser difícil de manejar con un equipo de más de 10 personas. ¿Cómo podría usted modificar el método para maximizar la participación pero mantener un trabajo enfocado y decisivo dado un equipo de desarrollo grande?

2. ¿Puede el proceso de identificar necesidades de clientes llevar a la creación de conceptos innovadores de productos? ¿En qué formas? ¿Podría un proceso estructurado de necesidades identificadas de clientes llevar a un concepto de producto fundamentalmente nuevo como las notas adhesivas Post-it?

CAPÍTULO SEIS

Especificaciones del producto



Cortesía de Specialized Bicycle Components

FIGURA 6-1 Una de las bicicletas de montaña de Specialized con suspensión de horquilla.

Specialized Bicycle Components estaba interesada en desarrollar una nueva suspensión de horquilla para el mercado de bicicletas de montaña. Aun cuando la empresa ya estaba vendiendo horquillas de suspensión en sus bicicletas (figura 6-1), estaba interesada en explorar diseños que dieran un alto valor para el ciclista de actividades recreativas.

El equipo de desarrollo había pasado mucho tiempo identificando necesidades del cliente. Además de realizar recorridos en esas bicicletas por muchas horas, los miembros del equipo habían entrevistado a usuarios que eran líderes en carreras de bicicleta de montaña y también a ciclistas de actividades recreativas en senderos de la localidad, y luego habían pasado tiempo trabajando con los vendedores en sus tiendas. Como resultado de este proceso habían elaborado una lista de necesidades del cliente. En ese momento se enfrentaban a varios desafíos:

- ¿En qué forma las necesidades relativamente subjetivas del cliente podrían traducirse en objetivos precisos para el trabajo restante de desarrollo?
- ¿Cómo se pondrían de acuerdo el equipo y la alta administración sobre qué diseño del producto resultaría un éxito o un fracaso?
- Cómo podría el equipo crear confianza para que el producto proyectado atraiga una parte importante del mercado de horquillas de suspensión?
- ¿Cómo podría el equipo resolver las inevitables concesiones entre características del producto como costo y peso?

Este capítulo presenta un método para establecer especificaciones de productos. Suponemos que las necesidades del cliente ya están documentadas como se describe en el capítulo 5, Identificación de las necesidades del cliente. El método emplea varios sistemas de información sencillos, los cuales se pueden construir usando software convencional de hojas de cálculo.

¿Qué son especificaciones?

Las necesidades del cliente se expresan generalmente en el "lenguaje del cliente". Las necesidades primarias del cliente para la horquilla de suspensión se detallan en la figura 6-2. Necesidades del cliente como "la suspensión es fácil de instalar" o "la suspensión hace posible descensos a alta velocidad en veredas llenas de baches" son típicas en términos de la calidad subjetiva de las expresiones. No obstante, mientras que esas expresiones son útiles para crear un sentido claro de los problemas que son de interés para los clientes, sirven de muy poco respecto a cómo diseñar y construir el producto. Simplemente dejan demasiado margen para interpretación subjetiva. Por esta razón, los grupos de desarrollo por lo general establecen un conjunto de especificaciones que explican, con detalles precisos y medibles, *lo que* el producto tiene que hacer. Las especificaciones del producto no indican al grupo *cómo* manejar las necesidades del cliente, pero representan una base sobre lo que el grupo deberá hacer para satisfacer las necesidades del cliente. Por ejemplo, en contraste con la necesidad del cliente de que "la suspensión es fácil de instalar", la especificación correspondiente podría ser que "el tiempo promedio para ensamblar la horquilla al bastidor debe ser menor a 75 segundos".

Proponemos que el término *especificaciones del producto* denote la descripción precisa de lo que el producto tiene que ser. Algunas empresas usan los términos "requisitos del producto" o "características ingenieriles" en ese sentido. Otras usan "especificaciones" o "especificaciones técnicas" para referirse a variables clave de diseño del producto como son por ejemplo viscosidad del aceite o constante del resorte del sistema de suspensión. Éstas son sólo diferencias

Núm.		**Necesidad**	**Imp.**
1	La suspensión	reduce vibración a las manos.	3
2	La suspensión	permite un recorrido fácil en terreno lento y difícil.	2
3	La suspensión	hace posibles descensos a alta velocidad en veredas llenas de baches.	5
4	La suspensión	permite ajustar la sensibilidad.	3
5	La suspensión	mantiene las características de dirección de la bicicleta.	4
6	La suspensión	permanece rígida en vueltas cerradas.	4
7	La suspensión	es ligera en peso.	4
8	La suspensión	contiene puntos rígidos de montaje para los frenos.	2
9	La suspensión	se ajusta a una amplia variedad de bicicletas, rines y llantas.	5
10	La suspensión	es fácil de instalar.	1
11	La suspensión	trabaja con guardafangos.	1
12	La suspensión	inspira orgullo.	5
13	La suspensión	es accesible para un amateur entusiasta.	5
14	La suspensión	no se contamina con agua.	5
15	La suspensión	no se contamina con polvo.	5
16	La suspensión	es de fácil acceso para mantenimiento.	3
17	La suspensión	permite la fácil reposición de piezas desgastadas.	1
18	La suspensión	permite un mantenimiento con herramientas sencillas.	3
19	La suspensión	tiene una larga vida útil.	5
20	La suspensión	es segura en un choque.	5

FIGURA 6-2 Necesidades del cliente para la horquilla de suspensión y su importancia relativa (mostrada en un formato cómodo de hoja de cálculo).

léxicas. Para mayor claridad, precisemos algunas definiciones. Una *especificación* (singular) consiste en una *métrica* y un *valor.* Por ejemplo, "tiempo promedio para ensamble" es una métrica, mientras que "menos de 75 segundos" es el valor de estas métricas. Nótese que el valor puede tomar varias formas, incluyendo un número particular, un rango o una desigualdad. Los valores siempre se marcan con las unidades apropiadas (por ejemplo, segundos, kilogramos, joules). Juntos, la métrica y el valor forman una especificación. Las *especificaciones del producto* (plural) son simplemente el conjunto de las especificaciones individuales.

¿Cuándo se establecen especificaciones?

En un mundo ideal, el grupo establecería las especificaciones del producto una vez al inicio del proceso de desarrollo y luego continuaría diseñando y construyendo el producto para satisfacer esas especificaciones. Para algunos productos, por ejemplo jabón o sopa, este método funciona muy bien; los técnicos del grupo pueden de manera confiable inventar una fórmula que satisfaga casi cualesquiera especificaciones razonables. Sin embargo, para productos de alta tecno-

logía, esto es casi imposible. Para estos productos se establecen especificaciones cuando menos en dos ocasiones. Inmediatamente después de identificar las necesidades del cliente, el grupo establece *especificaciones meta*. Estas especificaciones representan las esperanzas y aspiraciones del grupo, pero se establecen antes que el grupo conozca cuáles restricciones impondrá la tecnología para la construcción del producto. Los trabajos del equipo pueden no satisfacer algunas de estas especificaciones y pueden rebasar otras, dependiendo del concepto del producto que finalmente seleccione el equipo. Por esta razón, las especificaciones objetivo deberán refinarse después que el concepto del producto se haya seleccionado. El equipo repasa las especificaciones al mismo tiempo que evalúa las restricciones técnicas reales y los costos esperados de producción. Para establecer las *especificaciones finales*, el equipo, con frecuencia, debe hacer difíciles concesiones entre diferentes características deseables del producto. Para mayor sencillez presentamos un proceso de dos etapas para establecer especificaciones, pero hacemos notar que en algunas organizaciones las especificaciones se repasan muchas veces en todo el proceso de desarrollo.

Las dos etapas en que se establecen especificaciones se muestran como parte del proceso de desarrollo del concepto en la figura 6-3. Nótese que las especificaciones finales son uno de los elementos clave del plan de desarrollo, que suele documentarse en la *bitácora* del proyecto. La bitácora (que se describe en el capítulo 18, Administración de proyectos) especifica lo que acuerda el equipo en lograr, el calendario del proyecto, los recursos necesarios y las implicaciones económicas para el negocio. La lista de especificaciones del producto también es uno de los sistemas de información clave que el equipo emplea en todo el proceso de desarrollo.

Este capítulo presenta dos métodos: el primero es establecer las especificaciones objetivo y el segundo es para establecer las especificaciones finales después de que el concepto del producto se haya seleccionado.

Establecer especificaciones objetivo

Como lo ilustra la figura 6-3, las especificaciones objetivo se establecen después de que se han identificado las necesidades del cliente, pero antes de que los conceptos del producto se hayan generado y se hayan seleccionado los más prometedores. Una situación arbitraria de las especificaciones puede no ser técnicamente factible. Por ejemplo, al diseñar una horquilla de suspensión, el equipo no puede determinar por anticipado que lograrán diseñar una horquilla que tenga una masa de un kilogramo, un costo de manufactura de $30 y el mejor tiempo de

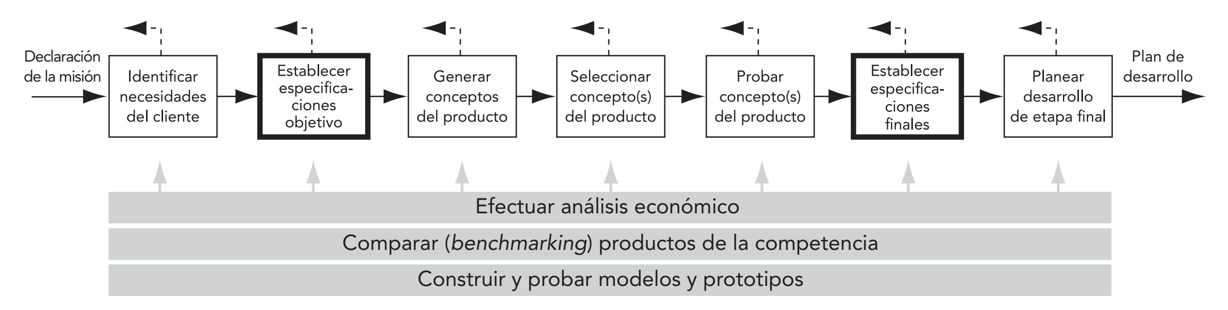


FIGURA 6-3 Proceso de desarrollo del concepto. En las primeras etapas del proceso se establecen las especificaciones objetivo, pero las especificaciones finales no se establecen sino hasta que se selecciona el concepto del producto.

descenso en la pista de prueba, ya que estas tres especificaciones son muy ambiciosas. Satisfacer realmente las especificaciones establecidas en este punto está determinado por los detalles del concepto del producto que finalmente selecciona el equipo. Por esta razón, estas especificaciones preliminares se marcan como “especificaciones objetivo”. Son las metas del grupo de desarrollo que describen un producto que el equipo piensa que tendría éxito en el mercado. Posteriormente, estas especificaciones serán refinadas con base en las limitaciones del concepto del producto que haya sido seleccionado.

El proceso de establecer las especificaciones objetivo consiste en cuatro pasos:

1. Elaborar la lista de métricas.
2. Recabar información de comparaciones con la competencia.
3. Establecer valores meta ideales y marginalmente aceptables.
4. Reflexionar en los resultados y el proceso.

Paso 1: Elaborar la lista de métricas

Las métricas más útiles son aquellas que reflejan, en forma tan directa como es posible, el grado al cual el producto satisface las necesidades del cliente. La relación entre necesidades y métricas es esencial para todo el concepto de especificaciones. La suposición funcional es que es posible una traducción de las necesidades del cliente a un conjunto de especificaciones precisas y mesurables, y que, por lo tanto, al cumplir esas especificaciones se logrará la satisfacción de las necesidades del cliente.

En la figura 6-4 se muestra una lista de métricas. Una buena forma de generar la lista de métricas es sopesar cada necesidad por turno, así como considerar qué característica precisa y mesurable del producto reflejará el grado en que el producto satisface esa necesidad. En el caso ideal, hay una y sólo una métrica para cada necesidad. En la práctica, frecuentemente esto no es posible.

Por ejemplo, considere la necesidad de que la suspensión sea “fácil de instalar”. El equipo puede concluir que esta necesidad se capta en gran parte al medir el tiempo necesario para ensamblar la horquilla al bastidor. No obstante, nótense las posibles sutilezas de esta traducción. ¿El tiempo de ensamble es realmente idéntico a la facilidad de instalación? La instalación podría ser muy rápida pero requiere de un difícil y doloroso conjunto de acciones manuales, que al final puede llevar a lesiones de trabajadores o a frustración del vendedor. Debido a la naturaleza imprecisa del proceso de traducción, quienes establecen las especificaciones deben haber intervenido directamente en la identificación de las necesidades del cliente. De esta manera, el equipo puede apoyar su comprensión del significado de cada enunciado de necesidad en las interacciones directas con los clientes.

La necesidad de que la horquilla reduzca vibraciones a las manos del usuario puede ser incluso más difícil de traducir en una sola métrica, porque hay muchas condiciones diferentes bajo las cuales se puede transmitir vibración, incluyendo pequeños baches en terreno nivelado y grandes baches en veredas desiguales. El equipo puede concluir que varias métricas se requieren para captar esta necesidad, incluyendo, por ejemplo, la métrica “atenuación al tomar el manubrio a 10 Hz” y “valor máximo del *Monster*”. (El *Monster* es una prueba para suspensiones desarrollada por la revista *Mountain Bike*.)

Una sencilla matriz de necesidades-métricas representa la relación entre necesidades y métricas. Un ejemplo de matriz de necesidades-métricas se muestra en la figura 6-5. Las filas de la

Métrica núm.	Núm. de necesidad	Métrica	Imp.	Unidades
1	1, 3	Atenuación al tomar el manubrio a 10 Hz	3	dB
2	2, 6	Precarga de resorte	3	N
3	1, 3	Valor máximo en el *Monster test*	5	g
4	1, 3	Tiempo mínimo de descenso en piso de prueba	5	s
5	4	Rango de ajuste del coeficiente de amortiguamiento	3	N-s/m
6	5	Carrera máxima (rueda de 26 pulgadas)	3	mm
7	5	Distancia a la línea central	3	mm
8	6	Rigidez lateral en pivotes de freno	3	kN/m
9	7	Masa total	4	kg
10	8	Rigidez lateral en pivotes de freno	2	kN/m
11	9	Medidas del cabezal	5	pulgadas
12	9	Longitud del tubo de dirección	5	mm
13	9	Medidas de las ruedas	5	Lista
14	9	Ancho máximo del neumático	5	pulgadas
15	10	Tiempo para ensamblar al bastidor	1	s
16	11	Compatibilidad de guardafangos	1	Lista
17	12	Inspira orgullo	5	Subj.
18	13	Costo unitario de manufactura	5	US$
19	14	Tiempo en cámara de aspersión sin entrada de agua	5	s
20	15	Ciclos en cámara de lodo sin contaminación	5	Kilociclos
21	16, 17	Tiempo de desensamble/ensamble para mantenimiento	3	s
22	17, 18	Herramientas especiales necesarias para mantenimiento	3	Lista
23	19	Duración de prueba de UV para degradar piezas de hule	5	hr
24	19	Ciclos del *Monster* antes de falla	5	Ciclos
25	20	Prueba de estándares industriales de Japón	5	Binaria
26	20	Resistencia a la flexión (carga frontal)	5	kN

FIGURA 6-4 Lista de métricas para la suspensión. La importancia relativa de cada métrica y las unidades de la métrica también se muestran. "Subj." es una abreviatura que indica que la métrica es subjetiva.

matriz corresponden a las necesidades del cliente y las columnas corresponden a las métricas. Una marca en una celda de la matriz significa que la necesidad y la métrica asociada con la celda están relacionadas; el rendimiento relativo a la métrica influirá en qué grado el producto satisface la necesidad del cliente. Esta matriz es un elemento clave de la *House of Quality* (casa de calidad), técnica gráfica que se emplea en *Quality Function Deployment* (despliegue de la función de calidad) o *QFD* (Hauser y Clausing, 1988). En muchos casos encontramos que la información en la matriz de necesidades-métricas se comunica con igual facilidad al hacer una lista de los números de las necesidades relacionadas con cada métrica al lado de la lista de métricas (la segunda columna de la figura 6-4). No obstante, hay muchos otros casos en los que la relación entre necesidades y métricas es complicada, y la matriz puede ser muy útil para solventar esta situación.

Unas cuantas directrices deben considerarse al construir la lista de métricas:

	Necesidad / **Métrica**	1 Atenuación al tomar el manubrio a 10 Hz	2 Precarga de resorte	3 Valor máximo en el *Monster test*	4 Tiempo mínimo de descenso en piso de prueba	5 Rango de ajuste del coeficiente de amortiguamiento	6 Carrera máxima (rueda de 26 pulgadas)	7 Distancia a la línea central	8 Rigidez lateral en la punta	9 Masa total	10 Rigidez lateral en pivotes de freno	11 Medidas del cabezal	12 Longitud del tubo de dirección	13 Medidas de las ruedas	14 Ancho máximo del neumático	15 Tiempo para ensamblar al bastidor	16 Compatibilidad de guardafangos	17 Inspira orgullo	18 Costo unitario de manufactura	19 Tiempo en cámara de aspersión sin entrada de agua	20 Ciclos en cámara de lodo sin contaminación	21 Tiempo de desensamble/ensamble para mantenimiento	22 Herramientas especiales necesarias para mantenimiento	23 Duración de prueba de UV para degradar piezas de hule	24 Ciclos del *Monster* antes de falla	25 Prueba de estándares industriales de Japón	26 Resistencia a la flexión (carga frontal)
1	Reduce vibración en las manos	•		•	•																						
2	Permite un recorrido fácil en terrero lento y difícil		•																								
3	Hace posible descensos a alta velocidad en veredas llenas de baches	•		•	•																						
4	Permite ajustar la sensibilidad					•																					
5	Mantiene las características de dirección de la bicicleta						•	•																			
6	Permanece rígida en vueltas cerradas		•						•																		
7	Es ligera									•																	
8	Contiene puntos rígidos de montaje para los frenos										•																
9	Se ajusta a una amplia variedad de bicicletas, ruedas y neumáticos											•	•	•	•												
10	Es fácil de instalar															•											
11	Trabaja con guardafangos																•										
12	Inspira orgullo																	•									
13	Es accesible para un aficionado entusiasta																		•								
14	No se contamina con agua																			•							
15	No se contamina con polvo																				•						
16	Es de fácil acceso para mantenimiento																					•					
17	Permite la fácil reposición de piezas desgastadas																					•	•				
18	Permite un mantenimiento con herramientas sencillas																						•				
19	Tiene una larga vida útil																							•	•		
20	Es segura en un choque																									•	•

FIGURA 6-5 Matriz de necesidades-métricas.

- ***La métrica debe ser completa.*** Idealmente, cada necesidad del cliente correspondería a una sola métrica y el valor de esa métrica se correlacionaría perfectamente con la satisfacción de esa necesidad. En la práctica, varias métricas pueden ser necesarias para reflejar por completo una sola necesidad del cliente.
- ***Las métricas deben ser variables dependientes, no independientes.*** Esta directriz es una variante del principio de "*qué, no cómo*" introducido en el capítulo 5. Al igual que las necesidades del cliente, las especificaciones también indican *lo que* el producto debe hacer, pero no *cómo* se cumplirán las especificaciones. Los diseñadores usan muchos tipos de variables en el desarrollo del producto; algunas son *dependientes*, por ejemplo la masa

de la horquilla, y algunas son *independientes*, como el material empleado para la horquilla. En otras palabras, los diseñadores no pueden controlar el valor de la masa directamente porque ésta surge de otras decisiones independientes que tomarán, por ejemplo, la selección de dimensiones y materiales. Las métricas especifican el rendimiento general de un producto y, por lo tanto, deben ser las variables dependientes (es decir, las medidas del rendimiento o variables de salida) en el problema de diseño. Mediante el uso de variables dependientes para las especificaciones, los diseñadores quedan en libertad de alcanzar las especificaciones usando el mejor método posible.

- ***Las métricas deben ser prácticas.*** No sirve al equipo idear una métrica para una suspensión de bicicleta que sólo pueda ser medida por un laboratorio científico a un costo de 100 000 dólares. Idealmente, las métricas serán propiedades del producto que se podrán observar o analizar directamente de modo que puedan ser evaluadas de una manera fácil por el equipo.
- ***Algunas necesidades no se pueden traducir fácilmente en métricas cuantificables.*** La necesidad de que la suspensión inspire orgullo puede ser bastante crítica para el éxito en el mercado de bicicletas de montaña, que cambia con la moda; pero ¿cómo se puede cuantificar el orgullo? En estos casos, el equipo simplemente repite la declaración de necesidad como una especificación y toma nota de que la métrica es subjetiva y será evaluada por un panel de clientes. (Indicamos esto al introducir "Subj." en la columna de unidades.)
- ***Las métricas deberían incluir los criterios populares para comparación en el mercado.*** Muchos clientes en varios mercados compran productos con base en evaluaciones publicadas de manera independiente. Estas evaluaciones se encuentran, por ejemplo, en *Popular Science*, *Consumer Reports*, en varias páginas de internet, o bien, en nuestro caso, en las revistas *Bicycling* y *Mountain Bike*. Si el equipo sabe que su producto será evaluado por los medios de información comerciales y sabe cuáles serán los criterios de evaluación, entonces debe incluir métricas correspondientes a estos criterios. La revista *Mountain Bike* usa una máquina de prueba llamada *Monster*, que mide la aceleración vertical (en unidades *g*) de los manubrios cuando una bicicleta equipada con la horquilla corre sobre un bloque de 50 milímetros de alto. Por esta razón, el grupo incluyó "máximo valor en el *Monster*" como métrica. Si el equipo no puede hallar una relación entre los criterios empleados por los medios de información y las necesidades del cliente que haya identificado, entonces debe asegurarse de que una necesidad no se haya pasado por alto y/o debe trabajar con los medios de información para revisar los criterios. En unos pocos casos, el grupo podría concluir que el alto rendimiento en las evaluaciones de los medios de información es en sí una necesidad del cliente y escoge incluir una métrica empleada por los medios de información aun cuando tenga poco mérito técnico.

Además de denotar las necesidades relacionadas a cada métrica, la figura 6-4 contiene las unidades de medida y una calificación que da la importancia a cada métrica. Por lo general las unidades de medida son unidades convencionales de ingeniería como kilogramos y segundos. No obstante, algunas métricas no se prestan a valores numéricos. La necesidad de que la suspensión "trabaja con guardafangos" se traduce mejor en una especificación que mencione los modelos de guardafangos con los que la horquilla es compatible. En este caso, el valor de la métrica es en realidad una lista de guardafangos más que un número. Para la métrica que comprenda la prueba de seguridad estándar, el valor es pasa/no pasa. (Indicamos estos dos casos al introducir "Lista" y "Binaria" en la columna de unidades.)

La calificación de importancia de una métrica se deriva de las calificaciones de importancia de las necesidades que refleja. Para casos en los que una métrica se refiere directamente a una sola necesidad, la calificación de importancia de la necesidad se convierte en la calificación de importancia de la métrica. Para casos en los que una métrica está relacionada con más de una necesidad, la importancia de la métrica es determinada al considerar las importancias de las necesidades a las que se relaciona y la naturaleza de estas relaciones. Debido a la subjetividad en el proceso de asignar valores de importancia, consideramos que es mejor que éstos se determinen por medio de la discusión entre los miembros del equipo, en lugar de hacerlo por medio de un algoritmo formal. Cuando hay relativamente pocas especificaciones y el establecimiento de la importancia relativa de estas especificaciones tiene una importancia crítica, será de gran utilidad realizar un *análisis conjunto*. Más adelante en este capítulo se hace una breve descripción del análisis conjunto y al final del capítulo se hace referencia a publicaciones que explican esta técnica.

Paso 2: Recabar información de comparaciones con la competencia

A menos que el equipo considere que tendrá un monopolio total, la relación del nuevo producto con productos de la competencia es de suma importancia para determinar el éxito comercial. Mientras que el proceso de desarrollo del producto lo inició el equipo con alguna idea de cómo se desea competir en el mercado, las especificaciones objetivo son el lenguaje que el equipo emplea para analizar y acordar el posicionamiento detallado de su producto con respecto a productos existentes, tanto propios como de la competencia. Debe reunirse información sobre productos de la competencia para apoyar estas decisiones de posicionamiento.

Un ejemplo de una tabla de comparaciones contra la competencia se muestra en la figura 6-6. Las columnas de la tabla corresponden a productos de la competencia y las filas son las métricas establecidas en el paso 1. Nótese que la tabla de comparaciones contra la competencia se puede construir como un simple apéndice de la hoja de cálculo que contiene la lista de métricas. (Esta información es uno de los "cuartos" de la *House of Quality* —casa de calidad— descrita por Hauser y Clausing.)

La tabla de comparaciones es conceptualmente muy sencilla. Para cada producto de la competencia, los valores de la métrica sólo se introducen en una columna. Reunir estos datos puede ser un proceso lento que comprende adquisiciones (por lo menos), prueba, desensamble y estimación de los costos de producción de los productos más importantes de la competencia. No obstante, esta inversión en tiempo es esencial porque ningún equipo de desarrollo del producto puede esperar tener éxito sin disponer de este tipo de información. Una advertencia: a veces los datos contenidos en los catálogos y literatura de apoyo de la competencia no son precisos. Siempre que sea posible, los valores de métricas clave deben ser verificados por pruebas u observaciones independientes.

Una tabla alternativa de *benchmarking* (comparación) con la competencia se puede construir con filas correspondientes a las necesidades del cliente y columnas correspondientes a productos de la competencia (vea la figura 6-7). Esta tabla se usa para comparar percepciones de los clientes respecto del grado relativo al cual los productos satisfacen sus necesidades. Construir esta tabla requiere de la recolección de datos de percepción del cliente, que también puede ser muy costoso y lento. Algunas técnicas para medir la percepción de las satisfaccio-

Métrica núm.	Núm. de necesidad	Métrica	Imp.	Unidades	ST Tritrack	Maniray 2	Rox Tahx Quadra	Rox Tahx Ti 21	Tonka Pro	Gunhill Head Shox
1	1, 3	Atenuación al tomar el manubrio a 10 Hz	3	dB	8	15	10	15	9	13
2	2, 6	Precarga de resorte	3	N	550	760	500	710	480	680
3	1, 3	Valor máximo en el Monster test	5	g	3.6	3.2	3.7	3.3	3.7	3.4
4	1, 3	Tiempo mínimo de descenso en piso prueba	5	s	13	11.3	12.6	11.2	13.2	11
5	4	Rango de ajuste del coeficiente de amortiguamiento	3	N-s/m	0	0	0	200	0	0
6	5	Carrera máxima (rueda de 26 pulgadas)	3	mm	28	48	43	46	33	38
7	5	Distancia a la línea central	3	mm	41.5	39	38	38	43.2	39
8	6	Rigidez lateral en la punta	3	kN/m	59	110	85	85	65	130
9	7	Masa total	4	kg	1.409	1.385	1.409	1.364	1.222	1.100
10	8	Rigidez lateral en pivotes de freno	2	kN/m	295	550	425	425	325	650
11	9	Medidas del cabezal	5	pulgadas	1.000 1.125	1.000 1.125 1.250	1.000 1.125	1.000 1.125 1.250	1.000 1.125	NA
12	9	Longitud del tubo de dirección	5	mm	150 180 210 230 255	140 165 190 210	150 170 190 210	150 175 190 210 230	155 190 210 220	NA
13	9	Medidas de las ruedas	5	Lista	26 pulgadas	26 pulgadas	26 pulgadas	26 pulgadas 700C	26 pulgadas	26 pulgadas

FIGURA 6-6 Tabla de comparación con la competencia (*benchmarking*) basada en métricas.

nes de necesidades de los clientes están contenidas en un libro de Urban y Hauser (1993). Ambas tablas pueden ser útiles y cualquier discrepancia entre las dos será instructiva. Como mínimo, debe crearse una tabla que muestre los valores de la métrica que tiene la competencia (figura 6-6).

Paso 3: Establecer valores objetivo ideales y marginalmente aceptables

En este paso, el equipo sintetiza la información disponible para establecer en realidad los *valores objetivo* para la métrica. Dos tipos de valor objetivo son útiles: un *valor ideal* y un *valor*

Métrica núm.	Núm. de necesidad	Métrica	Imp.	Unidades	ST Tritrack	Maniray 2	Rox Tahx Quadra	Rox Tahx Ti 21	Tonka Pro	Gunhill Head Shox
14	9	Ancho máximo del neumático	5	pulgadas	1.5	1.75	1.5	1.75	1.5	1.5
15	10	Tiempo para ensamblar el bastidor	1	s	35	35	45	45	35	85
16	11	Compatibilidad de guardafangos	1	Lista	Zefal	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Todas
17	12	Inspira orgullo	5	Subj	1	4	3	5	3	5
18	13	Costo unitario de manufactura	5	US$	65	105	85	115	80	100
19	14	Tiempo en cámara de aspersión sin entrada de agua	5	s	1 300	2 900	>3 600	>3 600	2 300	>3 600
20	15	Ciclos en cámara de lodo sin contaminación	5	Kilociclos	15	19	15	25	18	35
21	16, 17	Tiempo para desensamble/ensamble para mantenimiento	3	s	160	245	215	245	200	425
22	17, 18	Herramientas especiales necesarias para mantenimiento	3	Lista	Hex	Hex	Hex	Hex	Hex largo	Llavero de gancho hex
23	19	Duración de prueba de UV para degradar piezas de hule	5	hr	400+	250	400+	400+	400+	250
24	20	Ciclos de *Monster* antes de falla	5	Ciclos	500k+	500k+	500k+	480	500k+	330k
25	20	Prueba de estándares industriales de Japón	5	Binarias	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
26	20	Resistencia a la flexión (carga frontal)	5	kN	5.5	8.9	7.5	7.5	6.2	10.2

FIGURA 6-6 *Continuación*

marginalmente aceptable. El valor ideal es el mejor resultado que puede esperar el equipo. El valor marginalmente aceptable es el valor de la métrica que apenas haría viable el producto desde el punto de vista comercial. Estos dos objetivos son útiles para guiar las subsiguientes etapas de generación de conceptos y selección del concepto, y para refinar las especificaciones después que se haya seleccionado el concepto del producto.

Hay cinco formas de expresar los valores de las métricas:

- ***Al menos X:*** Estas especificaciones establecen objetivos para el límite inferior en una métrica, pero el superior es todavía mejor. Por ejemplo, el valor de la rigidez de montaje del freno se especifica al menos en 325 kilonewtons/metro.
- ***Máximo X:*** Estas especificaciones establecen objetivos para el límite superior en una métrica, siendo mejores los valores más pequeños. Por ejemplo, el valor para la masa de la horquilla de suspensión se establece para que sea máximo 1.4 kilogramos.
- ***Entre X y Y:*** Estas especificaciones establecen los límites superior e inferior para el valor de una métrica. Por ejemplo, el valor para la precarga de resorte está establecido entre

Núm.	Necesidad	Imp.	ST Tritrack	Maniray 2	Quadra	Rox Tahx Ti 21	Tonka Pro	Gunhill Head Shox
1	Reduce vibración en las manos	3	•	••••	••	•••••	••	•••
2	Permite un recorrido fácil en terreno lento y difícil	2	••	••••	•••	•••••	•••	•••••
3	Hace posibles descensos a alta velocidad en veredas llenas de baches	5	•	•••••	••	•••••	••	•••
4	Permite ajustar la sensibilidad	3	•	••••	••	•••••	••	•••
5	Mantiene las características de dirección de la bicicleta	4	••••	••	•	••	•••••	•••••
6	Permanece rígida en vueltas cerradas	4	•	•••	•	•••••	•	•••••
7	Es ligera	4	•	•••	•	•••	••••	•••••
8	Contiene puntos rígidos de montaje para los frenos	2	•	••••	•••	•••	•••••	••
9	Se ajusta a gran variedad de bicicletas, ruedas y neumáticos	5	••••	•••••	•••	•••••	•••	•
10	Es fácil de instalar	1	••••	•••••	••••	••••	•••••	•
11	Trabaja con guardafangos	1	•••	•	•	•	•	•••••
12	Inspira orgullo	5	•	••••	•••	•••••	•••	•••••
13	Es accesible para un aficionado entusiasta	5	•••••	•	•••	•	•••	••
14	No se contamina con agua	5	•	•••	••••	••••	••	•••••
15	No se contamina con polvo	5	•	•••	•	••••	••	•••••
16	Es de fácil acceso para mantenimiento	3	••••	•••••	••••	••••	•••••	•
17	Permite la fácil reposición de piezas desgastadas	1	••••	•••••	••••	••••	•••••	•
18	Permite un mantenimiento con herramientas sencillas	3	•••••	•••••	•••••	•••••	••	•
19	Tiene una larga vida útil	5	•••••	•••••	•••••	•••	•••••	•
20	Es segura en un choque	5	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••

FIGURA 6-7 Tabla de comparación con la competencia basada en la percepción de satisfacción de las necesidades (una mayor cantidad de puntos corresponde a una mayor percepción de satisfacción de la necesidad).

480 y 800 newtons. Cualquier aumento hace que la suspensión sea dura; una reducción hace que la suspensión sea demasiado blanda.

- ***Exactamente X:*** Estas especificaciones establecen el objetivo de un valor particular de una métrica y cualquier desviación degrada el rendimiento. Por ejemplo, el valor ideal para distancia a la línea central se establece en 38 milímetros. Este tipo de especificación, de ser posible, debe evitarse, porque estas especificaciones restringen de manera importante el diseño. Con frecuencia, al hacer una reconsideración, el grupo se da cuenta de que lo que inicialmente aparece como una especificación “exactamente X” se puede expresar como una especificación “entre X y Y”.

- ***Un conjunto de valores discretos:*** Algunas métricas tendrán valores correspondientes a varias selecciones discretas. Por ejemplo, los diámetros del cabezal son 1.000, 1.125, o 1.250 pulgadas. (La práctica industrial es usar unidades inglesas para éstas y otras dimensiones críticas en bicicletas.)

El margen deseable de valores para una métrica puede depender de otra. En otras palabras, podemos desear expresar un objetivo como, por ejemplo, “la rigidez lateral de la punta de la horquilla no es más de 20% de la rigidez lateral de los pivotes del freno”. En aplicaciones donde el equipo piense que este nivel de complejidad queda garantizado, estos objetivos se pueden incluir fácilmente, aun cuando recomendamos que este nivel de complejidad no se introduzca sino hasta la fase final del proceso de especificaciones.

Con el uso de estos cinco tipos diferentes de expresiones para valores de las métricas, el equipo establece las especificaciones objetivo. El equipo simplemente continúa hacia abajo en la lista de métricas asignando valores objetivo marginalmente aceptables e ideales para cada métrica. Estas decisiones son facilitadas por la tabla de comparación con la competencia basada en métricas que se muestra en la figura 6-6. Para establecer los valores objetivo, el equipo tiene que considerar muchas cosas, incluyendo la capacidad de productos de la competencia que estén disponibles en ese momento, capacidad futura del producto de la competencia (si es que se puede pronosticar), la declaración de la misión del producto y segmento de mercado objetivo. La figura 6-8 muestra los objetivos asignados para la horquilla de suspensión.

Debido a que casi todos los valores se expresan en términos de límites (superior, inferior o ambos), el equipo está estableciendo las fronteras del espacio competitivamente viable del producto. El equipo espera que el producto satisfaga algunos de los objetivos ideales pero confía en que el producto pueda ser viable desde el punto de vista comercial, incluso si exhibe una o más características marginalmente aceptables. Nótese que estas especificaciones son preliminares porque mientras no se escoja un concepto de producto y se resuelvan algunos detalles de diseño, muchas de las concesiones son inciertas.

Paso 4: Reflexionar en los resultados y el proceso

El equipo puede requerir de alguna iteración para estar de acuerdo en los objetivos. Una reflexión después de cada iteración ayuda a asegurar que los resultados sean coherentes con las metas del proyecto. Las preguntas a considerar incluyen:

- ¿Los miembros del equipo están “jugando”? Por ejemplo, ¿el representante principal de mercadotecnia está insistiendo en que se requiere un valor ambicioso para una métrica particular, en espera de que al establecer una meta alta el equipo alcanzará más que si expresaran sus verdaderas creencias?
- ¿Debe el equipo considerar ofrecer múltiples productos, o al menos múltiples opciones para el producto, para satisfacer mejor las necesidades particulares de más de un segmento de mercado?, o ¿será suficiente un producto “promedio”?
- ¿Faltan algunas especificaciones? ¿Las especificaciones reflejan las características que dictarán el éxito comercial?

Una vez establecidos los objetivos, el equipo puede continuar con la generación de conceptos de solución. Las especificaciones objetivo pueden entonces usarse para ayudar al equipo a seleccionar un concepto, y ayudarán al equipo a saber cuándo el concepto es viable

Métrica núm.	**Núm. de necesidad**	**Métrica**	**Imp.**	**Unidades**	**Valor marginal**	**Valor ideal**
1	1, 3	Atenuación al tomar el manubrio a 10 Hz	3	dB	>10	>15
2	2, 6	Precarga de resorte	3	N	480-800	650-700
3	1, 3	Valor máximo en el *Monster test*	5	g	<3.5	<3.2
4	1, 3	Tiempo mínimo de descenso en piso de prueba	5	s	<13.0	<11.0
5	4	Rango de ajuste del coeficiente de amortiguamiento	3	N-s/m	0	>200
6	5	Carrera máxima (rueda de 26 pulgadas)	3	mm	33-50	45
7	5	Distancia a la línea central	3	mm	37-45	38
8	6	Rigidez lateral en la punta	3	kN/m	>65	>130
9	7	Masa total	4	kg	<1.4	<1.1
10	8	Rigidez lateral en pivotes de freno	2	kN/m	>325	>650
11	9	Medidas del cabezal	5	pulgadas	1.000 1.125	1.000 1.125 1.250
12	9	Longitud del tubo de dirección	5	mm	150 170 190 210	150 170 190 210 230
13	9	Medidas de las ruedas	5	Lista	26 pulgadas	26 pulgadas 700C
14	9	Ancho máximo del neumático	5	pulgadas	>1.5	>1.75
15	10	Tiempo para ensamblar al bastidor	1	s	<60	<35
16	11	Compatibilidad de guardafangos	1	Lista	Ninguno	Todos
17	12	Inspira orgullo	5	Subj.	>3	>5
18	13	Costo unitario de manufactura	5	US$	<85	<65
19	14	Tiempo en cámara de aspersión sin entrada de agua	5	s	>2 300	>3 600
20	15	Ciclos en cámara de lodo sin contaminación	5	Kilociclos	>15	>35
21	16, 17	Tiempo para desensamble/ensamble para mantenimiento	3	s	<300	<160
22	17, 18	Herramientas especiales necesarias para mantenimiento	3	Lista	Hex	Hex
23	19	Duración de prueba de UV para degradar piezas de hule	5	h	>250	>450
24	19	Ciclos del *Monster* antes de falla	5	Ciclos	>300k	>500k
25	20	Prueba de estándares industriales de Japón	5	Binaria	Pasa	Pasa
26	20	Resistencia a la flexión (carga frontal)	5	kN	>7.0	>10.0

FIGURA 6-8 Especificaciones objetivo. Al igual que los otros sistemas de información, éste se codifica fácilmente en una hoja de cálculo como una simple extensión de la lista de especificaciones.

desde el punto de vista comercial. (Vea el capítulo 7, Generación de concepto, y el capítulo 8, Selección del concepto.)

Establecer las especificaciones finales

Cuando el equipo finalice la selección de un concepto y elabore el subsiguiente diseño y desarrollo, las especificaciones se revisan. Las especificaciones que originalmente eran sólo objetivos expresados como amplios rangos de valores son ahora refinadas y se hacen más precisas.

Finalizar las especificaciones es difícil debido a las concesiones, es decir, relaciones inversas entre dos especificaciones que son inherentes en el concepto seleccionado del producto. Las concesiones ocurren con frecuencia entre diferentes métricas técnicas de rendimiento y casi siempre se presentan entre métricas técnicas de rendimiento y costo. Por ejemplo, una concesión es entre rigidez de montaje del freno y masa de la horquilla. Debido a la mecánica básica de la estructura de la horquilla, estas especificaciones están relacionadas de manera inversa, suponiendo que otros factores se mantengan constantes. Otra concesión es entre costo y masa. Para un concepto determinado, el grupo puede ser capaz de reducir la masa de la horquilla al hacer algunas piezas de titanio en lugar de acero. Desafortunadamente, al reducir la masa en esta forma habrá una gran posibilidad de aumentar el costo de manufactura d el producto. La parte difícil de refinar las especificaciones es escoger cómo resolver estas concesiones.

A continuación, proponemos un proceso de cinco pasos:

1. Desarrollar modelos técnicos del producto.
2. Desarrollar un modelo de costo del producto.
3. Refinar las especificaciones, haciendo concesiones donde sea necesario.
4. Bajar de nivel las especificaciones según sea necesario.
5. Reflexionar en los resultados y el proceso.

Paso 1: Desarrollar modelos técnicos del producto

Un *modelo técnico* del producto es una herramienta para predecir los valores de las métricas para un conjunto particular de decisiones de diseño. Proponemos que el término *modelos* se refiera a aproximaciones analíticas y físicas del producto. (Vea en el capítulo 14, Construcción de prototipos, un análisis más a fondo de esos modelos.)

En este punto, el equipo había seleccionado un concepto de resorte helicoidal con amortiguamiento por aceite para la horquilla de suspensión. Las decisiones de diseño a las que se enfrentaba el equipo incluyeron detalles tales como los materiales para los componentes estructurales, el diámetro del orificio y viscosidad del aceite para el amortiguador, así como la constante del resorte. En la figura 6-9 se muestran tres modelos que enlazaban esas decisiones de diseño con las métricas de rendimiento en forma conceptual. Estos modelos se pueden usar para pronosticar el rendimiento del producto en varias dimensiones. Las entradas para estos modelos son las variables independientes del diseño asociadas con el concepto del producto, por ejemplo viscosidad del aceite, diámetro del orificio, constante del resorte y geometría. Las salidas del modelo son los valores de las métricas, como son atenuación, rigidez y duración bajo condiciones de fatiga.

Idealmente, el equipo podrá modelar con precisión el producto, tal vez implementando las ecuaciones del modelo en una hoja de cálculo o en una simulación por computadora. Este

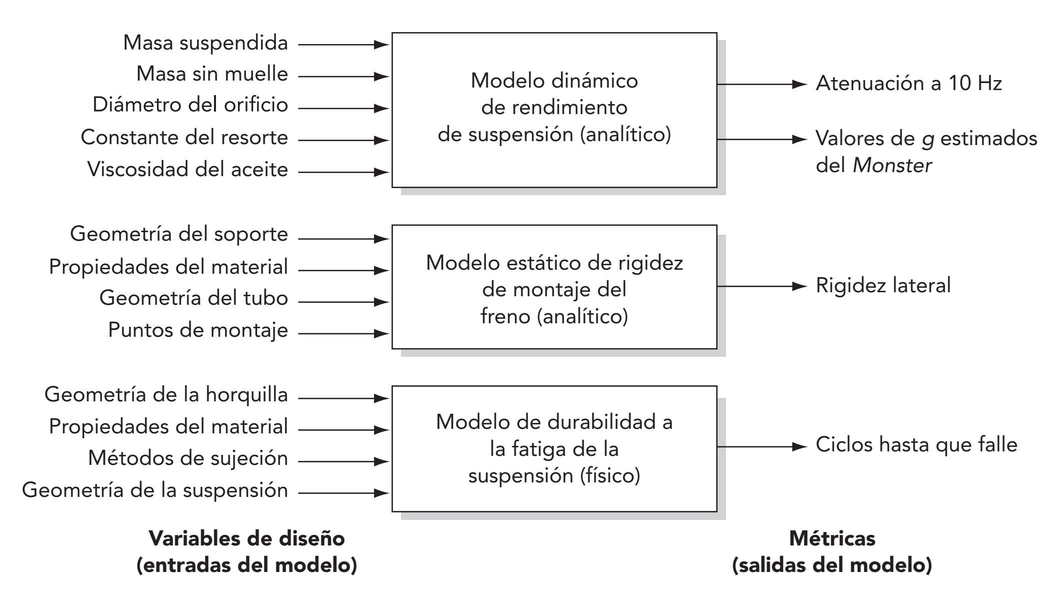


FIGURA 6-9 Modelos empleados para evaluar factibilidad técnica. Los modelos técnicos pueden ser aproximaciones analíticas o físicas del concepto del producto.

modelo permite al equipo predecir con rapidez qué tipo de rendimiento se puede esperar de una selección particular de las variables de diseño, sin necesidad de una costosa experimentación física. En la mayor parte de los casos, estos modelos analíticos estarán disponibles para sólo un pequeño subconjunto de las métricas. Por ejemplo, el equipo pudo modelar analíticamente la atenuación, con base en el conocimiento de sistemas dinámicos por parte de los ingenieros.

Varios modelos independientes, cada uno de ellos correspondiente a un subconjunto de las métricas, serán más manejables que un modelo grande integrado. Por ejemplo, el equipo desarrolló un modelo analítico separado para la rigidez de montaje del freno que era por completo independiente del modelo dinámico empleado para predecir la atenuación de vibración. En algunos casos, no se podrá disponer de modelos analíticos en absoluto. Por ejemplo, el equipo no pudo modelar en forma analítica el rendimiento a la fatiga de la suspensión, de modo que se construyeron y probaron modelos físicos. En general, es necesario construir varios modelos físicos diferentes o prototipos para explorar las implicaciones de varias combinaciones de variables de diseño. Para reducir el número de modelos que deban construirse, es útil emplear técnicas de diseño de experimentos (DOE), que pueden minimizar el número de experimentos requeridos para explorar el espacio de diseño. (Vea en el capítulo 15, Diseño robusto, un resumen de métodos DOE.)

Ya con estos modelos técnicos, el equipo puede predecir si cualquier conjunto particular de especificaciones (por ejemplo, los valores objetivo ideales) es técnicamente factible al explorar diferentes combinaciones de variables de diseño. Este tipo de modelado y análisis evita que el equipo establezca una combinación de especificaciones que no se puedan lograr si se usa la libertad disponible en el concepto del producto.

Nótese que un modelo técnico es casi siempre único para un concepto particular del producto. Uno de los modelos ilustrados en la figura 6-9 es para un sistema de suspensión con

amortiguador de aceite; el modelo sería considerablemente diferente si el grupo hubiera seleccionado un concepto que emplea un elemento de suspensión de hule. Entonces, el paso del modelado puede efectuarse sólo después de escogido el concepto.

Paso 2: Desarrollar un modelo de costo del producto

El objetivo de este paso del proceso es asegurar que el producto se pueda producir al *costo objetivo*. El costo objetivo es el costo de manufactura al que la compañía y sus socios de distribución pueden obtener utilidades adecuadas, al mismo tiempo que ofrecen el producto al cliente final a un precio competitivo. El apéndice de este capítulo es una explicación del costeo objetivo. En este punto el equipo trata de descubrir, por ejemplo, cuánto tendrá que sacrificar en costo de manufactura para ahorrar 50 gramos de masa.

Para casi todos los productos, las primeras estimaciones de costos de manufactura son complementadas al elaborar una *lista de materiales* (lista de todas las piezas) y estimar un precio de compra o costo de fabricación para cada pieza. En este momento del proceso de desarrollo, el equipo generalmente no conoce todos los componentes que estarán en el producto, pero tratará de enumerar los componentes que espera se necesiten. Si bien las primeras estimaciones generalmente se enfocan en el costo de componentes, el equipo por lo general hará en este punto una estimación aproximada de los costos de ensamble y de otros costos de manufactura (por ejemplo, costos indirectos). El trabajo para elaborar estas primeras estimaciones de costo comprende solicitar estimaciones de costo de vendedores, así como estimar los costos de producción de los componentes que la empresa producirá. Este proceso es facilitado a veces por un experto en adquisiciones y un ingeniero de producción. Un modelo de costo de lista de materiales se muestra en la figura 6-10 para la horquilla de suspensión. (Vea en el capítulo 13, Diseño para manufactura, más detalles sobre cómo estimar costos de manufactura.)

Una forma útil de registrar información de costos es hacer una lista de cifras para las estimaciones alta y baja de cada artículo. Esto ayuda al equipo a entender el margen de incertidumbre de las estimaciones. La lista de materiales por lo general se emplea en forma iterativa: el equipo efectúa un análisis de costo de “qué pasa si” para un conjunto de decisiones de diseño y luego revisa estas decisiones con base en lo que aprende. La lista de materiales es en sí una clase de modelo de rendimiento, pero en lugar de predecir el valor de una métrica técnica de rendimiento, predice el rendimiento del costo. La lista de materiales permanece útil en todo el proceso de desarrollo y se actualiza de una manera regular (a veces hasta una vez por semana) para reflejar el estado actual del costo estimado de manufactura.

En este punto del proceso de desarrollo, los equipos que desarrollan productos complejos que contienen cientos o miles de piezas por lo general no podrán incluir todas las piezas en la lista de materiales. En lugar de esto, el equipo hará una lista de los componentes y subsistemas principales y pone límites en sus costos con base en experiencias anteriores o en juicios emitidos por proveedores.

Paso 3: Refinar las especificaciones, haciendo concesiones donde sea necesario

Una vez que el equipo haya construido modelos técnicos de rendimiento donde sea posible y construido un modelo preliminar de costo, estas herramientas se pueden usar para desarrollar

Componente	Cantidad/ horquilla	Alto ($ c/u)	Bajo ($ c/u)	Total alto ($/horquilla)	Total bajo ($/horquilla)
Tubo de dirección	1	2.50	2.00	2.50	2.00
Corona	1	4.00	3.00	4.00	3.00
Cubrepolvo	2	1.00	0.75	2.00	1.50
Tubo inferior	2	3.00	2.00	6.00	4.00
Tapa superior del tubo inferior	2	2.00	1.50	4.00	3.00
Empaque principal	2	1.50	1.40	3.00	2.80
Buje corredizo	4	0.20	0.18	0.80	0.72
Separador de buje corredizo	2	0.50	0.40	1.00	0.80
Tapón de tubo inferior	2	0.50	0.35	1.00	0.70
Tubo superior	2	5.50	4.00	11.00	8.00
Tapa superior de tubo superior	2	3.00	2.50	6.00	5.00
Perilla de ajuste de tubo superior	2	2.00	1.75	4.00	3.50
Eje de ajuste	2	4.00	3.00	8.00	6.00
Resorte	2	3.00	2.50	6.00	5.00
Tapa de orificio de tubo superior	1	3.00	2.25	3.00	2.25
Resortes de orificio	4	0.50	0.40	2.00	1.60
Prisionero del freno	2	0.40	0.35	0.80	0.70
Tornillo de tirante del freno	2	0.25	0.20	0.50	0.40
Tirante del freno	1	5.00	3.50	5.00	3.50
Aceite (litros)	0.1	2.50	2.00	0.25	0.20
Anillo de retención, juntas	10	0.15	0.10	1.50	1.00
Calcomanías	4	0.25	0.15	1.00	0.60
Ensamble a $20/hora		30 min	20 min	10.00	6.67
Gastos generales a 25% de costo directo				20.84	15.74
Total				$104.19	$78.68

FIGURA 6-10 Lista de materiales con estimaciones de costos. Este sencillo modelo de costos permite las primeras estimaciones de costos para facilitar concesiones realistas en las especificaciones de producción.

especificaciones finales; éstas pueden lograrse en una sesión de grupo en la que se determinan combinaciones factibles de valores mediante el uso de los modelos técnicos y luego se exploran las implicaciones de costo. De un modo iterativo, el equipo converge en las especificaciones que colocarán favorablemente al producto con respecto a la competencia, satisfarán mejor las necesidades del cliente y asegurarán utilidades adecuadas.

Una herramienta importante para apoyar este proceso de toma de decisiones es el *mapa competitivo.* Un ejemplo de mapa competitivo se ve en la figura 6-11. Este mapa es simplemente una gráfica de dispersión de los productos de la competencia a lo largo de dos dimensiones seleccionadas del conjunto de métricas y a veces se denomina mapa de concesiones. El mapa que se ve en la figura 6-11 muestra el costo estimado de manufactura contra la evaluación en la prueba del *Monster*. Las regiones definidas por los valores marginales e ideales de las especificaciones se ilustran en el mapa. Este mapa es particularmente útil al indicar que todas las suspensiones de alto rendimiento (bajas evaluaciones del *Monster*) tienen costos de manufactura estimados altos. Armado con modelos de rendimiento técnico y un modelo de costo, el grupo puede evaluar si podrá o no “vencer la concesión” exhibida en el mapa competitivo.

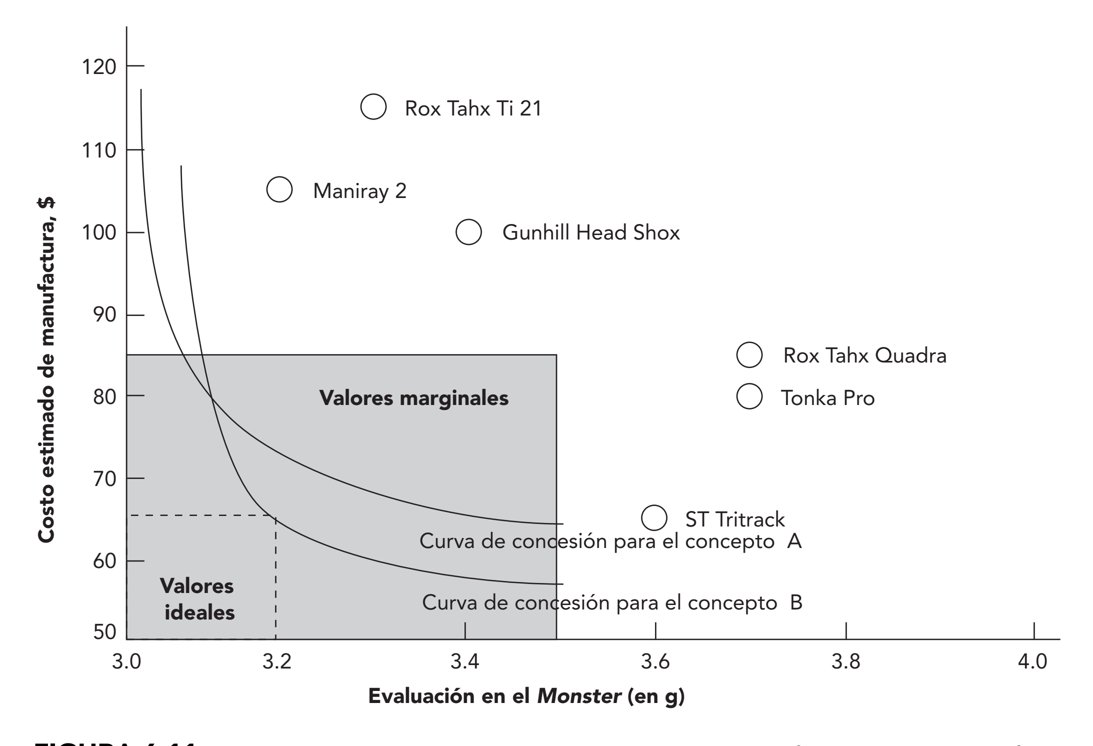


FIGURA 6-11 Un mapa competitivo que muestra costo estimado de manufactura contra evaluación en la prueba del Monster. Las curvas de concesiones para dos conceptos de suspensión también se ven en este mapa.

Estos mapas se pueden construir de manera directa a partir de datos contenidos en la tabla de *benchmarking* de la competencia si se usa la función de gráficas del software de la hoja de cálculo. Generalmente, el equipo elabora tres o cuatro de estos mapas correspondientes a unas pocas métricas críticas. Es posible crear otros mapas, según sea necesario, para apoyar la subsiguiente toma de decisiones.

El mapa competitivo se usa para posicionar el nuevo producto con respecto a la competencia. Las curvas de concesiones, que muestran el rendimiento del concepto del producto para diversas variables de diseño, se pueden trazar directamente en el mapa competitivo, como se ve en la figura 6-11. Con el uso de los modelos técnicos y de costo del producto y los mapas competitivos, el equipo puede refinar las especificaciones para satisfacer las restricciones inherentes del concepto del producto y hacer concesiones de forma que dará una ventaja de rendimiento con respecto a los productos de la competencia. Las especificaciones finales para la horquilla de suspensión se ven en la figura 6-12.

Para categorías de productos relativamente maduros en las que la competencia está basada en desempeño con respecto a unas pocas métricas de rendimiento bien entendidas, un *análisis conjunto* puede ser útil para refinar especificaciones del producto. El análisis conjunto emplea datos de encuestas hechas a clientes para construir un modelo de preferencia del cliente. En esencia, a cada persona que responde en una muestra de clientes potenciales se le pide evaluar productos hipotéticos caracterizados por un conjunto de atributos; estos últimos

Núm.	Métrica	Unidad	Valor
1	Atenuación al tomar el manubrio a 10 Hz	dB>	12
2	Precarga de resorte	N	600–650
3	Valor máximo en el *Monster test*	g	<3.4
4	Tiempo mínimo de descenso en piso de prueba	s	<11.5
5	Rango de ajuste del coeficiente de amortiguamiento	N-s/m	>100
6	Carrera máxima (rueda de 26 pulgadas)	mm	43
7	Distancia a la línea central	mm	38
8	Rigidez lateral en la punta	kN/m	>75
9	Masa total	kg	<1.4
10	Rigidez lateral en pivotes de freno	kN/m	>425
11	Medidas del cabezal	pulgadas	1.000 1.125
12	Longitud del tubo de dirección	mm	150 170 190 210 230
13	Medidas de las ruedas	Lista	26 pulgadas
14	Ancho máximo del neumático	pulgadas	>1.75
15	Tiempo para ensamblar al bastidor	s	<45
16	Compatibilidad de guardafangos	Lista	Zefal
17	Inspira orgullo	Subj.	>4
18	Costo unitario de manufactura	US$	<80
19	Tiempo en cámara de aspersión sin entrada de agua	s	>3 600
20	Ciclos en cámara de lodo sin contaminación	Kilociclos	>25
21	Tiempo para desensamble/ensamble para mantenimiento	s	<200
22	Herramientas especiales necesarias para mantenimiento	Lista	Hex
23	Duración de prueba de UV para degradar piezas de hule	h	>450
24	Ciclos del *Monster* antes de falla	Cycles	>500k
25	Prueba de estándares industriales de Japón	Binaria	Pasa
26	Resistencia a la flexión (carga frontal)	kN	>10.0

FIGURA 6-12 Especificaciones finales.

deben ser métricas que sean entendidas con facilidad por los clientes (por ejemplo, rendimiento de combustible y precio para automóviles). Los atributos subjetivos (por ejemplo, aspecto del diseño) se pueden representar en forma gráfica. Los productos hipotéticos se construyen usando las técnicas estadísticas de diseño experimental. Con el uso de respuestas de clientes, el análisis conjunto infiere la importancia relativa de cada atributo para el cliente.

Estos datos se pueden usar posteriormente para predecir cuál producto escogería un cliente cuando se le ofrezca un conjunto hipotético de alternativas. Con el uso de estas predicciones para todos los clientes de una muestra se puede pronosticar la participación de mercado de cada producto del conjunto de alternativas. Si se usa este método se pueden estimar los valores de especificación que maximizan la participación del mercado. Los detalles del análisis conjunto son más bien sencillos, pero están fuera del propósito de este capítulo. Las referencias relevantes aparecen al final del capítulo.

Paso 4: Bajar de nivel las especificaciones según sea necesario

Este capítulo se enfoca en las especificaciones para un componente relativamente sencillo diseñado por un equipo de desarrollo más bien pequeño. Establecer especificaciones adquiere más importancia y es mucho más difícil cuando se desarrolla un producto muy complejo formado por múltiples subsistemas diseñados por numerosos equipos de desarrollo. En este contexto, las especificaciones se emplean para definir los objetivos de desarrollo de cada uno de los subsistemas, así como el producto en su conjunto. Lo difícil en este caso es *bajar de nivel* las especificaciones generales a especificaciones de cada subsistema. Por ejemplo, las especificaciones generales para un automóvil contienen métricas como rendimiento de combustible, tiempo de aceleración de 0-100 km/h y radio de giro. No obstante, las especificaciones también deben ser creadas para las varias docenas de subsistemas principales que conforman el automóvil. Las especificaciones para el motor incluyen métricas como potencia máxima, torque máximo y consumo de combustible a eficiencia máxima. Un aspecto difícil en el proceso de bajar de nivel es asegurar que las especificaciones del subsistema reflejen las especificaciones generales del producto, es decir, que si se cumplen las especificaciones para los subsistemas, se cumplirán las especificaciones generales del producto. Un segundo aspecto difícil es asegurar que ciertas especificaciones para diferentes subsistemas sean igualmente difíciles de satisfacer. Esto es, por ejemplo, que la especificación de masa para el motor no sea excesivamente más difícil de satisfacer de lo que es la especificación de masa para la carrocería. De otro modo, es probable que el costo del producto sea más alto de lo necesario.

Algunas especificaciones generales de un componente se pueden establecer por medio de *asignaciones de presupuesto.* Por ejemplo, las especificaciones para costo de manufactura, masa y consumo de energía se pueden asignar a subsistemas con la confianza de que el costo general, masa y consumo de energía del producto simplemente serán la suma de estas cantidades para cada subsistema. Hasta cierto punto, el volumen geométrico se puede asignar también en esta forma. Otras especificaciones de componentes deben establecerse por medio de un entendimiento más completo de en qué forma el rendimiento de un subsistema se relaciona con el rendimiento general del producto. Por ejemplo, la eficiencia en consumo de combustible es una función relativamente compleja de masa de vehículo, resistencia al rodamiento, coeficiente de resistencia aerodinámica, área frontal y eficiencia del motor. Establecer especificaciones para la carrocería, neumáticos y motor requiere un modelo de la forma en que estas variables se relacionan con la eficiencia general del combustible.

Un tratamiento completo de bajar especificaciones para productos complejos está fuera del propósito de este capítulo, y de hecho es de interés importante del campo de *ingeniería de sistemas.* Sugerimos al lector consulte varias obras útiles sobre este tema en la lista de referencias.

Paso 5: Reflexionar en los resultados y el proceso

Como siempre, el paso final del método es reflexionar en el resultado y el proceso. Algunas preguntas que el equipo puede considerar son:

- ¿El producto es ganador? El concepto del producto debe permitir al equipo establecer las especificaciones para que el producto satisfaga las necesidades del cliente y sea mejor que la competencia. Si no es así, entonces el equipo debe regresar a la fase de generación y selección de concepto o abandonar el proyecto.
- ¿Cuánta incertidumbre hay en los modelos técnicos y de costo? Si el éxito competitivo está dictado por métricas alrededor de las cuales persiste mucha incertidumbre, el equipo puede refinar los modelos técnicos o de costo para aumentar la confianza de satisfacer las especificaciones.
- ¿El concepto elegido por el equipo se adapta mejor al mercado objetivo, o podría aplicarse mejor en otro mercado (por ejemplo, el extremo bajo o el extremo alto en lugar del centro)? El concepto seleccionado puede en realidad ser demasiado bueno. Si el equipo ha generado un concepto que es muy superior a productos de la competencia, puede considerar emplear el concepto en un segmento más demandante y potencialmente más rentable.
- ¿Debe la empresa iniciar un trabajo formal para desarrollar mejores modelos técnicos de algún aspecto del rendimiento del producto para uso futuro? A veces el equipo descubrirá que realmente no entiende la tecnología del producto base lo suficientemente bien como para crear modelos útiles de rendimiento. En esas circunstancias, un trabajo de ingeniería para desarrollar mejor entendimiento y modelos puede ser útil en subsiguientes proyectos de desarrollo.

Resumen

Las necesidades de los clientes generalmente se expresan en el “lenguaje del cliente”. Para obtener una guía específica acerca de cómo diseñar y construir un producto, los equipos de desarrollo establecen un conjunto de especificaciones que explican, en detalle preciso y mesurable, lo que el producto tiene que hacer para ser exitoso desde el punto de vista comercial. Las especificaciones deben reflejar las necesidades del cliente, diferenciar el producto con respecto a los productos de la competencia, y ser técnica y económicamente realizable.

- Por lo general, las especificaciones se establecen cuando menos en dos ocasiones. Inmediatamente después de identificar las necesidades del cliente, el equipo establece *especificaciones objetivo*. Después de la selección y prueba del concepto, el equipo desarrolla *especificaciones finales.*
- Las especificaciones objetivo representan las esperanzas y aspiraciones del equipo, pero se establecen antes de que el equipo conozca las restricciones que la tecnología del producto pondrá sobre lo que se puede lograr. El trabajo del equipo puede no satisfacer algunas de estas especificaciones y puede rebasar otras, dependiendo de los detalles del concepto del producto que finalmente seleccione el equipo.
- El proceso de establecer las especificaciones objetivo implica cuatro pasos:

    1. Elaborar la lista de métricas.
    2. Recolectar información de comparaciones (*benchmarking*) con la competencia.

3. Establecer valores objetivo *ideales* y *marginalmente aceptables.*
4. Reflexionar en los resultados y el proceso.

- Las especificaciones finales se desarrollan al evaluar las restricciones técnicas reales y los costos esperados de producción usando modelos analíticos y físicos. Durante esta fase de refinamiento, el equipo debe hacer concesiones entre varias características deseables del producto.
- El proceso de cinco pasos para refinar las especificaciones es:

1. Desarrollar modelos técnicos del producto.
2. Desarrollar un modelo de costo del producto.
3. Refinar las especificaciones, haciendo concesiones donde sea necesario.
4. Bajar de nivel las especificaciones según sea necesario.
5. Reflexionar en los resultados y el proceso.

- El proceso de especificaciones se facilita por medio de varios sencillos sistemas de información que se pueden crear fácilmente si se usa un software convencional de hojas de cálculo. Herramientas como la lista de métricas, matriz de métricas de necesidades, tablas de *benchmarking* de la competencia, así como mapas competitivos, apoyan la toma de decisiones del equipo al dar a éste una forma de representar y analizar las especificaciones.
- Debido a la necesidad de utilizar el mejor conocimiento posible del mercado, los clientes, la tecnología central del producto y las implicaciones de costo de alternativas de diseño, el proceso de especificaciones requiere de una participación activa de los miembros del equipo que representen las funciones de mercadotecnia, diseño y manufactura de la empresa.

Referencias y bibliografía

Existen numerosos recursos actuales en internet **www.ulrich-eppinger.net**

El proceso de traducir necesidades del cliente en un conjunto de especificaciones también se logra mediante el método de Quality Function Deployment (QFD). Las ideas clave que hay detrás del QFD y la House of Quality están claramente presentadas por Hauser y Clausing en un popular artículo.

Hauser, John, y Don Clausing, "The House of Quality," *Harvard Business Review,* Vol. 66, No. 3, mayo-junio de 1988, pp. 63-73.

Urban y Hauser presentan varias técnicas para seleccionar combinaciones de atributos de productos para maximizar la satisfacción de clientes. Algunas de estas técnicas pueden servir como poderoso apoyo analítico para el método general descrito en este capítulo.

Urban, Glen, y John Hauser, *Design and Marketing of New Products,* segunda edición, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993.

Ramaswamy y Ulrich tratan el uso de modelos de ingeniería para establecer especificaciones en detalle. También identifican algunas de las debilidades del método de House of Quality.

Ramaswamy, Rajan, y Karl Ulrich, "Augmenting the House of Quality with Engineering Models," *Research in Engineering Design,* Vol. 5, 1994, pp. 70-79.

Casi todos los libros de texto de investigación de mercados tratan el análisis conjunto. Veamos dos referencias.

Aaker, David A., V. Kumar, y George S. Day, *Marketing Research,* sexta edición, John Wiley & Sons, Nueva York, 1997.
Conjoint Analysis: A Guide for Designing and Interpreting Conjoint Studies, American Marketing Association, junio de 1992.

Los sistemas de ingeniería y bajar el nivel de especificaciones se tratan en forma muy completa en los siguientes libros:

Hatley, Derek J., e Imtiaz A. Pirbhai, *Strategies for Real-Time System Specification,* Dorset House, Nueva York, 1998.
Rechtin, Eberhardt, y Mark W. Maier, *The Art of Systems Architecting,* segunda edición, CRC Press, Boca Ratón, FL, 2000.

Más detalle en el uso del costeo objetivo se presenta en este artículo de Cooper y Slagmulder.

Cooper, Robin, y Regine Slagmulder, "Develop Profitable New Products with Target Costing," *Sloan Management Review,* Vol. 40, No. 4, verano de 1999, pp. 23-33.

Ejercicios

1. Haga una lista de métricas correspondientes a la necesidad de que un bolígrafo escriba suavemente.
2. Diseñe una métrica y una prueba correspondiente para la necesidad de que un material para techos dure muchos años.
3. Algunas de las mismas métricas parecen participar en concesiones para muchos productos diferentes. ¿Cuáles son algunos ejemplos de estas métricas?

Preguntas de análisis

1. ¿Cómo podría el lector establecer especificaciones precisas y mesurables para necesidades intangibles como "la suspensión delantera se ve muy bien"?
2. ¿Por qué algunas necesidades de clientes son difíciles de representar en una sola métrica?
3. ¿Cómo podría el lector explicar una situación en la que las percepciones de clientes de productos de la competencia (como se ve en la figura 6-7) no son coherentes con los valores de las métricas para esos mismos productos (como en la figura 6-6)?
4. ¿El rendimiento deficiente de una especificación puede siempre compensarse con un alto rendimiento de otras especificaciones? Si es así, ¿cómo puede realmente ser un valor "marginalmente aceptable" para una métrica?
5. ¿Por qué no deberían usarse las variables independientes de diseño como métricas?

Apéndice

Cálculo de costos objetivo

El cálculo de costos objetivo es una idea simple: establecer el valor de la especificación de costo de manufactura, con base en el precio que la compañía espera que el usuario final pagará por el producto, y en los márgenes de utilidad que se requieren para cada etapa del canal de distribución. Por ejemplo, suponga que Specialized desea vender su horquilla de suspensión a sus clientes por medio de talleres de bicicletas. Si el precio que esperaba que el cliente pagara fue $250 y si los talleres de bicicletas normalmente esperan un margen bruto de utili-

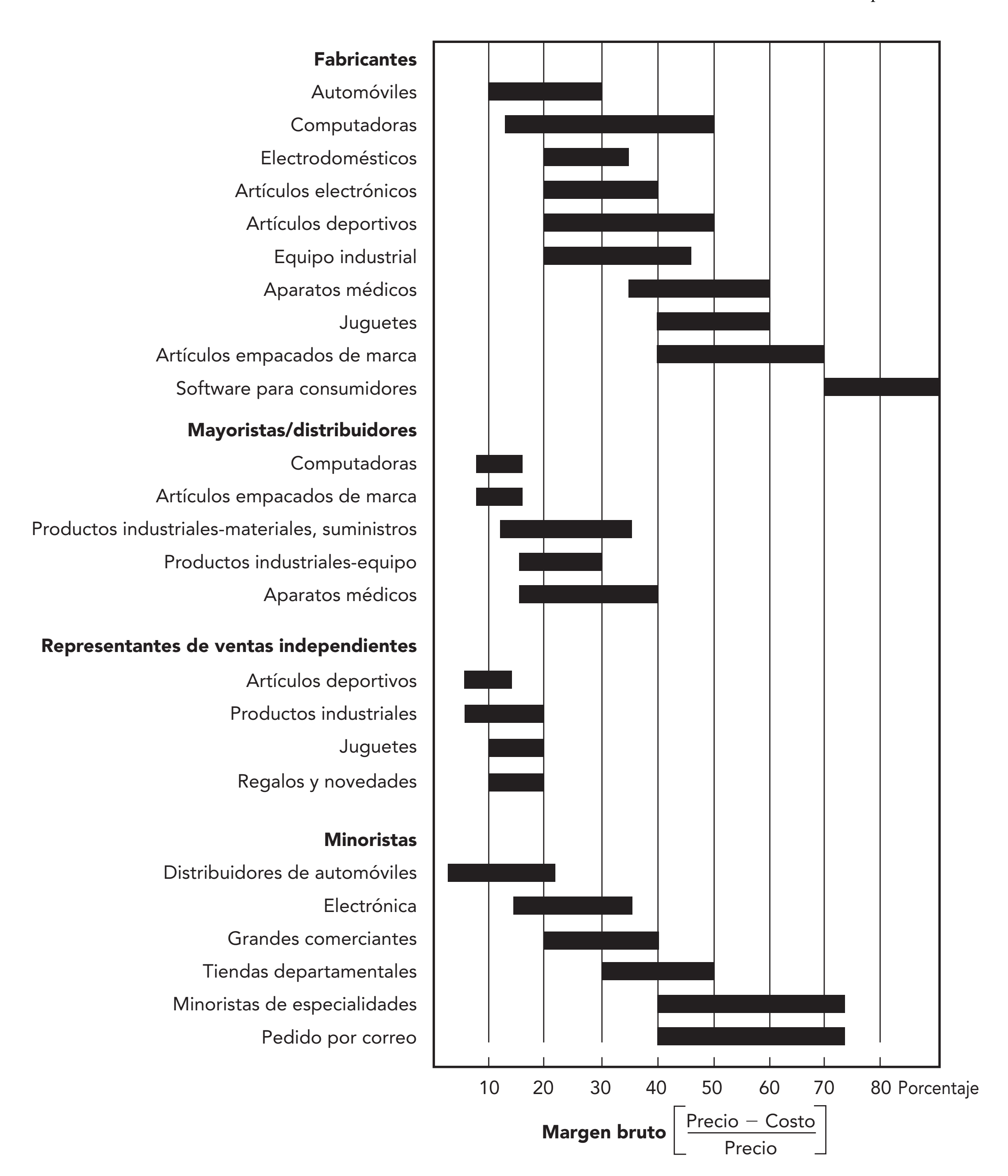


FIGURA 6-13 Márgenes aproximados para fabricantes, mayoristas, distribuidores, representantes de ventas y minoristas. Nótese que estos valores son muy aproximados. Los márgenes reales dependen de muchos factores de idiosincrasia, incluyendo intensidad competitiva, el volumen de unidades vendidas y el nivel de apoyo requerido al cliente. A los representantes de ventas se les paga por comisión y no son estrictamente parte del canal de distribución. No obstante, el grupo puede tomar en cuenta comisiones en su análisis de costo objetivo.

dad de 45% sobre componentes, entonces Specialized tendría que vender sus horquillas a talleres de bicicletas en (1 – 0.45) × 250 = $137.50. Si Specialized desea obtener un margen bruto de al menos 40% en sus componentes, entonces su costo unitario de manufactura debe ser menos de (1 – 0.40) × 137.50 = $82.50.

El cálculo de costos objetivo es lo inverso del método *costo-plus* de asignación de precios. El método costo-plus empieza con lo que la empresa espera que sean sus costos de manufactura y luego establece sus precios al sumar su margen esperado de utilidad al costo. Este método pasa por alto las realidades de los mercados de la competencia, en los que los precios son impulsados por factores del mercado y clientes. El cálculo de costos objetivo es un mecanismo para asegurar que las especificaciones se establezcan en una forma que permita que el producto tenga un precio competitivo en el mercado.

Algunos productos son vendidos directamente por un fabricante a usuarios finales del producto. Con frecuencia se distribuyen productos por medio de una o más etapas intermedias, como son por ejemplo distribuidores y minoristas. La figura 6-13 da algunos valores aproximados de márgenes brutos de utilidad para diferentes categorías de productos.

Sea M el *margen* bruto de utilidad de una etapa del canal de distribución.

$$M = \frac{(P - C)}{P}$$

donde P es el precio que esta etapa cobra a sus clientes y C es el costo que esta etapa paga por el producto que vende. (Nótese que *aumento* es semejante a margen, pero se define en forma ligeramente diferente a $P/C - 1$, de modo que un margen de 50% es equivalente a un aumento de 100%.)

El costo objetivo, C, está dado por la siguiente expresión:

$$C = P\prod_{i=1}^{n}(1 - M_i)$$

donde P es el precio pagado por el usuario final, n es el número de etapas del canal de distribución y M_i es el margen de la etapa i.

EJEMPLO

Suponga que el precio final al usuario, P, es $250.

Si el producto es vendido directamente al usuario final por el fabricante, y el margen bruto de utilidad deseado del fabricante, M_m, es igual a 0.40, entonces el costo objetivo es

$$C = P(1 - M_m) = \$250\ (1 - 0.40) = \$150$$

Si el producto es vendido a través de un minorista y el margen de utilidad bruta deseado para el detallista, M_r, es 0.45, entonces

$$\begin{aligned} C &= P(1 - M_m)(1 - M_r) \\ &= \$250\ (1 - 0.40)(1 - 0.45) = \$82.50 \end{aligned}$$

Si el producto es vendido a través de un distribuidor y un minorista, y el margen de utilidad bruta deseado para el distribuidor, M_d, es 0.20, entonces

$$C = P(1 - M_m)(1 - M_d)(1 - M_r) = \$250\ (1 - 0.40)(1 - 0.20)(1 - 0.45) = \$66.00$$

CAPÍTULO SIETE

Generación de conceptos



Cortesía de The Stanley Works

FIGURA 7-1 Pistola de clavos eléctrica, inalámbrica.

El presidente de la compañía Stanley-Bostitch comisionó a un equipo para que desarrollara una nueva pistola de clavos manual para el mercado de construcción de techos. El producto que finalmente resultó del trabajo se ilustra en la figura 7-1. La misión del equipo fue considerar conceptos alternativos del producto en términos generales, suponiendo que la herramienta utilizaría sólo clavos convencionales como tecnología básica para trabajar. Después de identificar un conjunto de necesidades de clientes y establecer especificaciones objetivo del producto, el equipo se encontró con las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles conceptos de solución existentes, si los había, se podrían adaptar con éxito para esta aplicación?
- ¿Qué nuevos conceptos podrían satisfacer las necesidades y especificaciones establecidas?
- ¿Cuáles métodos se pueden usar para facilitar el proceso de generación de conceptos?

La actividad de generación de conceptos

El concepto de un producto es una descripción aproximada de la tecnología, principios de trabajo y forma del producto. Es una descripción concisa de la forma en que el producto va a satisfacer las necesidades del cliente. Un concepto por lo general se expresa como un bosquejo o como un modelo tridimensional aproximado y a veces es acompañado por una breve descripción conceptual. El grado en que un producto satisface a clientes y puede ser comercializado con éxito depende en gran medida de la calidad del concepto fundamental. A veces, un buen concepto se pone en práctica de manera deficiente en fases subsiguientes al desarrollo, pero un mal concepto casi nunca puede ser manipulado para alcanzar el éxito comercial. Por fortuna, la generación de un concepto es de un costo relativamente bajo y se puede hacer con relativa rapidez en comparación con el resto del proceso de desarrollo. Por ejemplo, la generación de conceptos típicamente había consumido menos de 5% del presupuesto y 15% del tiempo de desarrollo en previos trabajos de desarrollo de una pistola de clavos. Debido a que la actividad de generación de conceptos no es costosa, no hay excusa para la falta de diligencia y atención en ejecutar un buen método de generación de conceptos.

El proceso de generación de conceptos empieza con un conjunto de necesidades del cliente y especificaciones objetivo, lo cual da como resultado un conjunto de conceptos del producto de los que el equipo hará una selección final. La relación entre generación de conceptos y las otras actividades de desarrollo del concepto se ve en la figura 7-2. En la mayor parte de

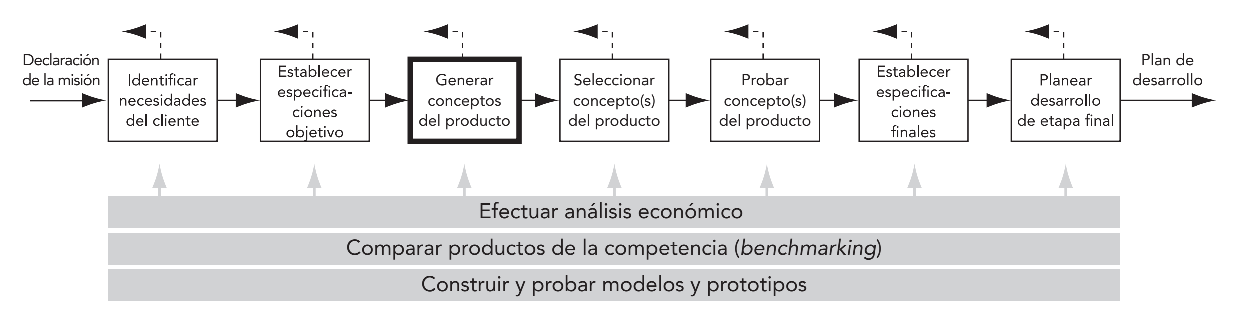


FIGURA 7-2 La generación de conceptos es parte integral de la fase de desarrollo del concepto.

los casos, un equipo eficiente de desarrollo va a generar cientos de conceptos, de los cuales cinco a 20 merecerán consideración seria durante la actividad de selección del concepto.

Una buena generación de conceptos deja al equipo con la confianza en que todo el espacio de alternativas se ha explorado. Una exploración completa de alternativas en las primeras etapas del proceso de desarrollo reduce, en gran medida, la probabilidad de que el equipo tropiece con un concepto superior más adelante en el proceso de desarrollo o que un competidor introduzca un producto con rendimiento mucho mejor que el producto en desarrollo.

Los métodos estructurados reducen la probabilidad de problemas costosos

Las disfunciones más comunes exhibidas por equipos de desarrollo durante la generación de conceptos incluyen:

- Consideración de sólo una o dos alternativas, a veces propuestas por los miembros más activos del equipo.
- No considerar cuidadosamente la utilidad de conceptos empleados por otras empresas en productos relacionados o no.
- La participación de sólo una o dos personas en el proceso, que da como resultado una falta de confianza y compromiso por parte de los demás integrantes del equipo.
- Integración ineficiente de prometedoras soluciones parciales.
- No considerar categorías enteras de soluciones.

Un método estructurado para la generación de conceptos reduce la incidencia de estos problemas al estimular el acopio de información proveniente de muchas fuentes de información dispares, al guiar al equipo en la completa exploración de alternativas y al dar un mecanismo para integrar soluciones parciales. Un método estructurado también proporciona un procedimiento paso a paso para los miembros del equipo que puedan ser menos experimentados en actividades de diseño intensivo, permitiéndoles participar de manera activa en el proceso.

Un método de cinco pasos

Este capítulo presenta un método de cinco pasos para la generación de conceptos. El método, mostrado en la figura 7-3, descompone un problema complejo en subproblemas más sencillos. Los conceptos de solución se identifican entonces para los subproblemas por medio de procedimientos de búsqueda externa e interna. Entonces se usan árboles de clasificación y tablas de combinación de conceptos, para explorar de manera sistemática el espacio de conceptos de solución y para integrar las soluciones del subproblema en una solución total. Por último, el equipo da un paso hacia atrás para reflexionar en la validez y aplicabilidad tanto de los resultados como del proceso empleado.

Este capítulo seguirá el método recomendado y describirá en detalle cada uno de los cinco pasos. Aun cuando presentamos el método en una secuencia lineal, la generación de conceptos casi siempre es iterativa. Al igual que otros métodos de desarrollo, estos pasos pretenden ser una base a partir de la cual los equipos de desarrollo del producto pueden desarrollar y refinar su estilo propio y único de resolver un problema.

Nuestra presentación del método se enfoca principalmente en el concepto general para un nuevo producto, pero el método puede y debería usarse en varios puntos diferentes del proceso de desarrollo. El proceso es útil no sólo para conceptos generales del producto sino tam-

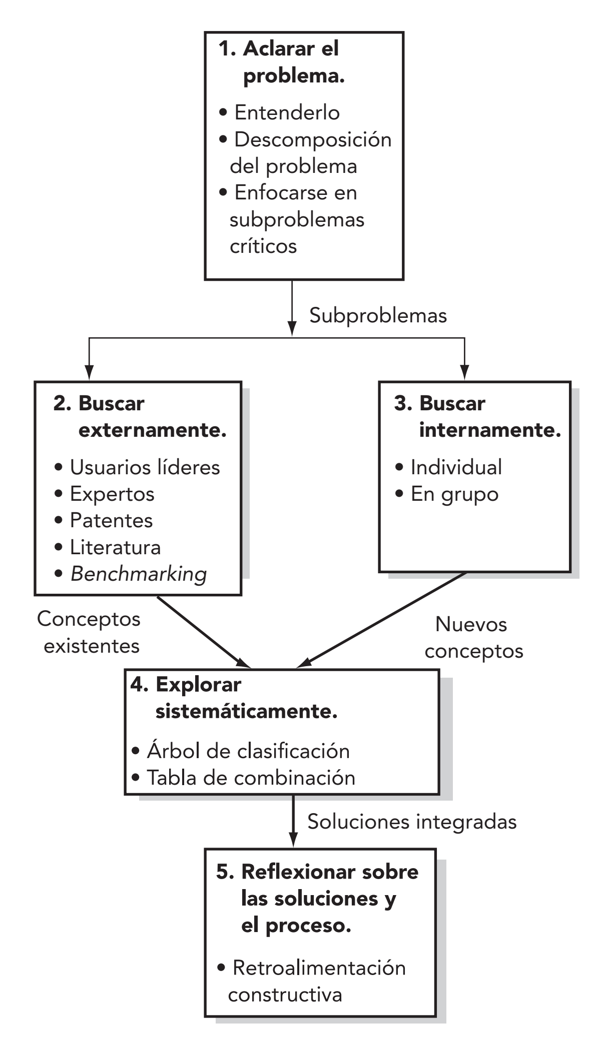


FIGURA 7-3 Método de generación de conceptos de cinco pasos.

bién para conceptos, subsistemas y componentes específicos. También nótese que mientras el ejemplo de este capítulo involucra un producto relativamente técnico, el mismo método básico se puede aplicar casi a cualquier producto.

Paso 1: Aclarar el problema

Aclarar el problema consiste en desarrollar un entendimiento general y luego, si es necesario, descomponer el problema en subproblemas.

La declaración de la misión para el proyecto, la lista de necesidades del cliente y las especificaciones preliminares del producto son las entradas ideales al proceso de generación de conceptos, aun cuando a veces estas piezas de información todavía están refinándose cuando se inicia la fase de generación del concepto. Idealmente, el equipo ha estado involucrado en la identificación de las necesidades del cliente y en establecer las especificaciones objetivo del producto. Los miembros del equipo que no intervinieron en estos pasos precedentes deben familiarizarse con los procesos empleados y sus resultados antes que se inicien las actividades de generación de conceptos. (Vea el capítulo 5, Identificación de las necesidades del cliente, y el capítulo 6, Especificaciones del producto.)

Como ya dijimos antes, el reto era "diseñar una mejor pistola de clavos manual para techos". El propósito del problema de diseño podría haberse definido en forma más general (por ejemplo, "sujetar materiales para techos") o más específicamente (por ejemplo, "mejorar la rapidez del concepto existente de herramienta neumática"). Algunas de las suposiciones de la declaración de la misión del equipo fueron:

- La pistola de clavos usará clavos (al contrario de adhesivos, tornillos, etcétera).
- La pistola de clavos será compatible con cargadores de clavos de herramientas existentes.
- La pistola de clavos clavará en madera a través de tejas para techo.
- La pistola de clavos será manual.

Con base en las suposiciones, el equipo había identificado las necesidades del cliente para la pistola de clavos. Éstas incluían:

- La pistola de clavos inserta clavos en rápida sucesión.
- La pistola de clavos es ligera.
- La pistola de clavos no muestra retardo notable después de accionarla.

El equipo reunió información complementaria para aclarar y cuantificar las necesidades, por ejemplo la energía aproximada y rapidez de clavado. Estas necesidades básicas se tradujeron posteriormente en especificaciones objetivo del producto, que incluyeron las siguientes:

- Longitudes de clavo de 25 a 38 milímetros.
- Máxima energía de clavado de 40 joules por clavo.
- Fuerzas de clavado de hasta 2 000 newtons.
- Rapidez máxima de clavado por segundo.
- Rapidez promedio de clavado de 12 clavos por minuto.
- Masa total menor a 4 kilogramos.
- Retardo máximo de disparo de 0.25 segundos.

Descomponer un problema complejo en subproblemas más sencillos

Muchos retos de diseño de producto son demasiado complejos para resolverse como un solo problema y se pueden dividir en varios subproblemas más sencillos. Por ejemplo, el diseño de un producto complejo, como lo es una copiadora de documentos, puede ser considerado como un conjunto de problemas de diseño más enfocados, incluyendo, por ejemplo, el diseño de una administradora de documentos, el diseño de un alimentador de papel, el diseño de una impresora y el diseño de un dispositivo para capturar imágenes. En algunos casos, no obstante, el problema de diseño no se puede dividir fácilmente en subproblemas o partes. Por ejemplo, el problema de diseñar un sujetapapeles puede ser difícil de dividir en partes. Como regla general, pensamos que los equipos deben tratar de descomponer problemas de diseño, pero deben estar conscientes de que esa descomposición puede no ser muy útil para productos con funciones extremadamente sencillas.

Dividir un problema en subproblemas o partes más sencillas se denomina *descomposición*. Hay muchos esquemas con los que un problema se puede descomponer. Aquí demostramos una descomposición *funcional* y también hacemos una lista de otros métodos que con frecuencia son útiles.

El primer paso para descomponer un problema funcionalmente es representarlo como una *caja negra* que opera en flujos de material, energía y señales, como se ve en la figura 7-4*a*). Las líneas continuas finas denotan la transferencia y conversión de energía, las continuas gruesas representan el movimiento de material dentro del sistema y las líneas discontinuas son las señales de flujos de control y retroalimentación dentro del sistema. Esta caja negra representa la función general del producto.

El siguiente paso en la descomposición funcional es dividir la caja negra en subfunciones para crear una descripción más específica de lo que los elementos del producto podrían hacer para implementar la función general del producto. Por lo general, cada subfunción puede dividirse en subfunciones aun más sencillas. El proceso de división se repite hasta que los miembros del equipo convengan en que cada una de las subfunciones es lo suficientemente sencilla como para trabajar con ella. Una regla práctica es crear entre tres y 10 subfunciones en el diagrama. El resultado final, que se muestra en la figura 7-4*b*), es un diagrama funcional que contiene subfunciones conectadas por energía, material y flujos de señal.

Nótese que, en esta etapa, la meta es describir los elementos funcionales del producto sin implicar un principio específico de trabajo tecnológico para el concepto del producto. Por ejemplo, la figura 7-4*b*) incluye la subfunción “aislar clavo”. Esta subfunción se expresa en

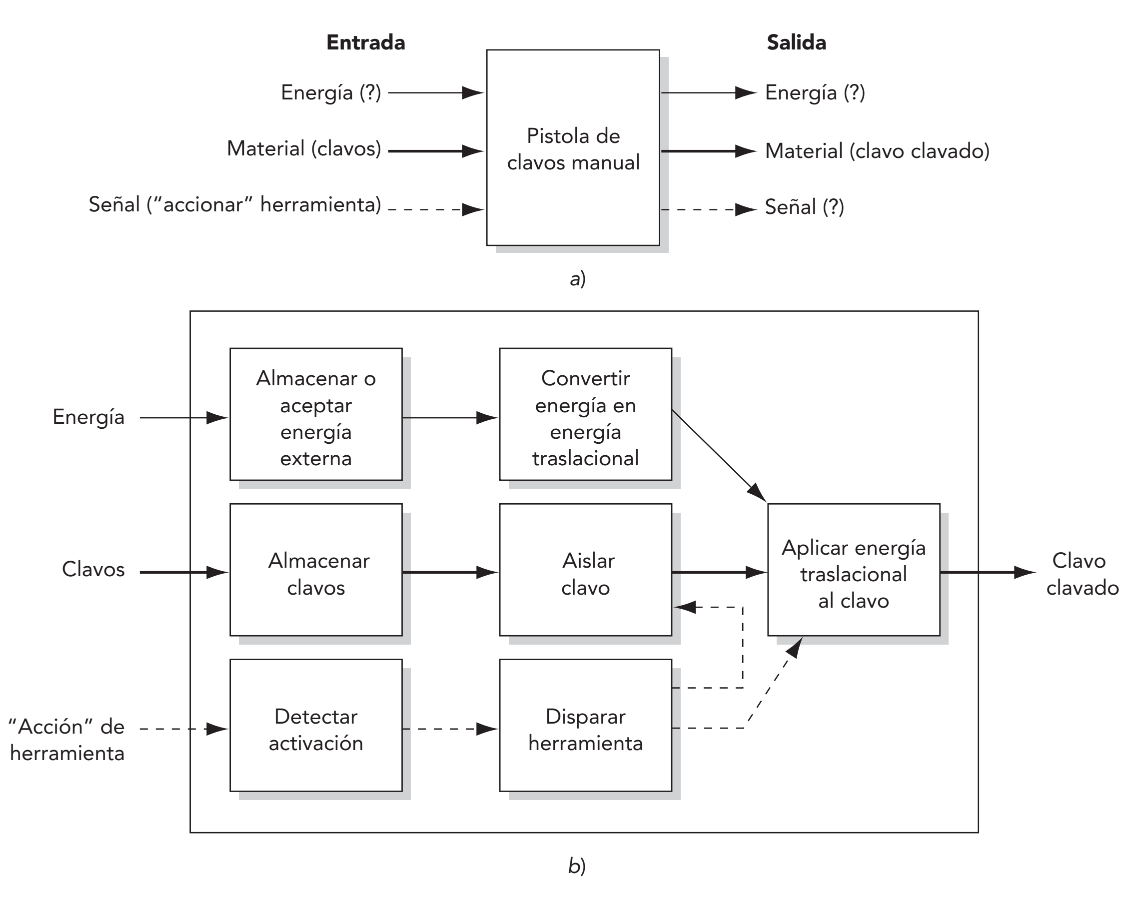


FIGURA 7-4 Diagrama funcional de una pistola de clavos manual que surge de una descomposición funcional: *a*) “caja negra” general; *b*) refinamiento que muestra subfunciones.

forma tal que no implica ningún concepto particular de solución física, por ejemplo indexar el cartucho de clavos en una ranura o mover un clavo a un lado del cartucho. El equipo debe considerar cada subfunción por turno y preguntar si se expresa en forma que no implique un principio particular de solución física.

No hay una forma específica de crear un diagrama funcional ni una descomposición específica de un producto. Una forma útil de crear el diagrama es elaborar rápidamente varios bosquejos y luego trabajar para refinarlos en un solo diagrama con el que el equipo se sienta cómodo. Algunas técnicas útiles para empezar son:

- Originar un diagrama funcional de un producto existente.
- Crear un diagrama funcional con base en un concepto arbitrario de producto ya generado por el equipo o basado en una subfunción conocida de tecnología. Asegurarse de generalizar el diagrama al nivel apropiado de abstracción.
- Seguir uno de los flujos (por ejemplo, material) y determinar cuáles operaciones se requieren. Los detalles de los otros flujos se pueden deducir si se piensa en sus conexiones con el flujo inicial.

Nótese que el diagrama funcional por lo general no es único. En particular, las subfunciones pueden a veces ordenarse en formas diferentes para producir diagramas funcionales diferentes. También nótese que en algunas aplicaciones el material, la energía y los flujos de señal son difíciles de identificar. En estos casos, a veces una simple lista de las subfunciones del producto, sin conexiones entre ellas, es suficiente.

La descomposición funcional es más aplicable a productos técnicos, pero también se puede aplicar a productos sencillos y no técnicos en apariencia. Por ejemplo, una cuchara para helado tiene flujo de material de helado separado, formado, transportado y depositado. Estas subfunciones podrían formar la base de una descomposición de problema.

La descomposición funcional es sólo una de varias formas posibles de dividir un problema en subproblemas más sencillos. Otros dos métodos son:

- ***Descomposición por secuencia de acciones del usuario:*** Por ejemplo, el problema de la pistola de clavos podría descomponerse en tres acciones de usuario: aproximar la herramienta a la posición de clavado, colocar la herramienta con precisión, accionar la herramienta. Este método es a veces útil para productos con funciones técnicas muy sencillas que comprenden mucha interacción de parte del usuario.
- ***Descomposición por necesidades clave de usuario:*** Para la pistola de clavos, la descomposición podría incluir los siguientes subproblemas: clavar clavos en sucesión rápida, ser ligera y tener gran cantidad de clavos. Este método es a veces útil para productos en los que la forma, y no principios de trabajo o tecnología, es el principal problema. Ejemplos de esos productos incluyen los cepillos dentales (suponiendo que se retiene el concepto básico de cepillado) y recipientes para guardar algo.

Enfocar el trabajo inicial en subproblemas críticos

El objetivo de todas las técnicas de descomposición es dividir un problema complejo en problemas más sencillos de modo que éstos se puedan solucionar en forma enfocada. Una vez que se complete la descomposición del problema, el equipo escoge los subproblemas que sean más críticos para el éxito del producto y que sea más probable que se beneficien de soluciones más novedosas o creativas. Este método comprende una decisión consciente de diferir la solución de algunos de los subproblemas. Por ejemplo, el equipo de la pistola de clavos escogió enfocarse en los subproblemas de almacenar/aceptar energía, convertir la energía en energía traslacional y aplicar ésta al clavo. El equipo confió en que los problemas del manejo de clavos y accionar la pistola podrían resolverse después de solucionar los problemas de almacenamiento y conversión de energía. El equipo también pospuso casi todos los problemas de interacción del usuario con la herramienta. El equipo pensó que la selección de un principio básico de funcionamiento para la herramienta limitaría la forma final de ésta, así que decidieron empezar con la tecnología básica, para luego continuar con el problema de cómo configurar esa tecnología en una forma atractiva y cómoda para el usuario. Los equipos por lo general pueden llegar a un acuerdo después de unos minutos de análisis sobre cuáles subproblemas deben resolverse primero y cuáles deben dejarse para consideración posterior.

Paso 2: Buscar externamente

La búsqueda externa está destinada a hallar soluciones existentes al problema general y a los subproblemas identificados durante el paso de aclaración del problema. La búsqueda externa

está considerada como el segundo paso en el método de generación de conceptos, aunque esta clasificación secuencial es engañosa; la búsqueda externa se presenta de manera continua en todo el proceso de desarrollo. Poner en práctica una solución existente suele ser más rápido y económico que desarrollar una nueva. El uso libre de soluciones existentes permite al equipo concentrar su energía creativa en los subproblemas críticos para los que no hay soluciones previas satisfactorias. Además, una solución convencional a un subproblema puede con frecuencia combinarse con una solución novedosa a otro subproblema para dar un diseño general superior. Por esta razón, la búsqueda externa incluye evaluación detallada no sólo de productos directamente de la competencia, sino también de tecnologías empleadas en productos con subfunciones relacionadas.

La búsqueda externa de soluciones es en esencia un proceso de captación de información. El tiempo y recursos disponibles se pueden optimizar mediante el uso de una estrategia de expandir y enfocar: primero *expandir* el propósito de la búsqueda al captar información general que podría estar relacionada con el problema, y luego *enfocar* el propósito de la búsqueda al explorar con mayor detalle las direcciones prometedoras. Demasiado de cualquiera de estos métodos hará ineficiente la búsqueda externa.

Hay al menos cinco buenas formas de captar información a partir de fuentes externas: entrevistas a usuarios líderes, consulta a expertos, buscar patentes, buscar en la literatura y *benchmark*ing (comparación) con la competencia.

Entrevistar a usuarios líderes

Al mismo tiempo que se identifican necesidades del cliente, el equipo puede buscar o hallar usuarios líderes. Los *usuarios líderes* son aquellos que experimentan necesidades con meses o años antes que casi todo el mercado, además de que buscan beneficiarse considerablemente de la innovación de un producto (Von Hippel, 1988). Es frecuente que estos usuarios líderes ya hayan inventado soluciones para satisfacer sus necesidades, lo cual es particularmente cierto entre comunidades de usuarios muy tecnificadas, por ejemplo las de campos de medicina o científicos. Los usuarios líderes pueden seleccionarse en el mercado para el cual el equipo está desarrollando el nuevo producto, o se pueden hallar en mercados para productos que implementen algunas de las subfunciones del producto.

En el caso de la pistola de clavos manual, el equipo consultó a contratistas de obras de la serie de televisión PBS *This Old House* (*Esta casa vieja*) para solicitar nuevos conceptos. Estos usuarios líderes, que trabajan con herramientas de varios fabricantes, hicieron numerosas e interesantes observaciones acerca de los puntos débiles en herramientas existentes, pero en este caso no proporcionaron muchos conceptos nuevos del producto.

Consultar a expertos

Los expertos con conocimiento de uno o más de los subproblemas no sólo pueden proveer conceptos de solución de manera directa, sino también redirigir la búsqueda en campos más provechosos. Entre los expertos pueden incluirse profesionales de empresas que manufacturan productos relacionados, consultores profesionales, profesores universitarios y representantes técnicos de proveedores. Estas personas pueden hallarse en universidades, empresas o entre autores de artículos técnicos. Si bien es cierto que hallar expertos puede ser un trabajo difícil, es casi siempre menos lento que recrear un conocimiento existente.

Casi todos los expertos están dispuestos a dar informes por teléfono o a ser entrevistados en persona alrededor de una hora, sin que cobren. En general, los consultores esperarán que se

les pague el tiempo que ocupen en un problema más allá de una conversación telefónica o de una reunión inicial. Los proveedores suelen estar dispuestos a dar varios días de trabajo sin compensación directa si anticipan que se usará su producto como un componente en un diseño. Desde luego que los expertos de empresas que son competidoras directas casi nunca estarán dispuestos a dar información acerca de patentes de los diseños de sus productos. Un buen hábito de desarrollo es siempre pedir a las personas consultadas que sugieran otros a quienes se deba entrevistar. La mejor información a veces proviene de buscar estas pistas de "segunda generación".

El equipo de diseño de la pistola de clavos consultó a docenas de expertos, incluyendo un especialista en combustibles para cohetes, investigadores de motores eléctricos en el MIT, así como ingenieros de un proveedor de amortiguadores de gas. Casi todas estas consultas se hicieron por teléfono, aunque los ingenieros del proveedor de resortes hicieron dos viajes para visitar al equipo a expensas de su empresa.

Buscar patentes

Las patentes son una fuente rica y fácilmente disponible de información técnica que contiene detallados dibujos y explicaciones de cómo funcionan muchos productos. La desventaja principal de la búsqueda de patentes es que los conceptos que se encuentran en patentes recientes están protegidos (generalmente durante 20 años a partir de la fecha de la solicitud de la patente), de modo que puede haber necesidad de pagar regalías si se usan. No obstante, las patentes también son útiles para ver qué conceptos ya están protegidos y deben evitarse o pagar licencia por ellos. Los conceptos contenidos en patentes extranjeras sin cobertura mundial y en patentes expiradas se pueden usar sin pago de regalías. En el capítulo 16, Patentes y propiedad intelectual, hay una explicación de los derechos de patentes y cómo entender los reclamos de patentes.

El esquema formal de clasificar patentes es difícil de navegar para novatos. Por fortuna, diversas bases de datos contienen el texto real de todas las patentes. En estas bases de datos se puede buscar electrónicamente por palabras clave. Las búsquedas de palabras clave se pueden hacer de manera eficiente con sólo un poco de práctica y son sorprendentemente eficaces para encontrar patentes relevantes para un producto particular. Copias de patentes de Estados Unidos que incluyen ilustraciones se pueden obtener de la U.S. Patent and Trademark Office y de varios proveedores pagando una cuota nominal. (Vea en la página web www.ulrich-eppinger.net una lista actualizada de bases de datos de patentes en línea y proveedores de documentos de patentes.)

La búsqueda de patentes de Estados Unidos en el campo de pistolas de clavos reveló varios conceptos interesantes. Una de las patentes describía una clavadora de doble volante accionada por un motor. Una de las ilustraciones de esta patente se muestra en la figura 7-5. El diseño de esta patente utiliza la acumulación de energía cinética de rotación en un volante, que se convierte rápidamente en energía de traslación por medio de un embrague de fricción. La energía se entrega después al clavo con un solo impacto de un perno motriz.

Buscar literatura publicada

La literatura publicada incluye revistas, memorias de conferencias, revistas industriales, informes gubernamentales, información de mercado, consumidores y productos, así como anuncios de nuevos productos. La búsqueda de literatura es en ocasiones una fuente fértil de soluciones existentes.

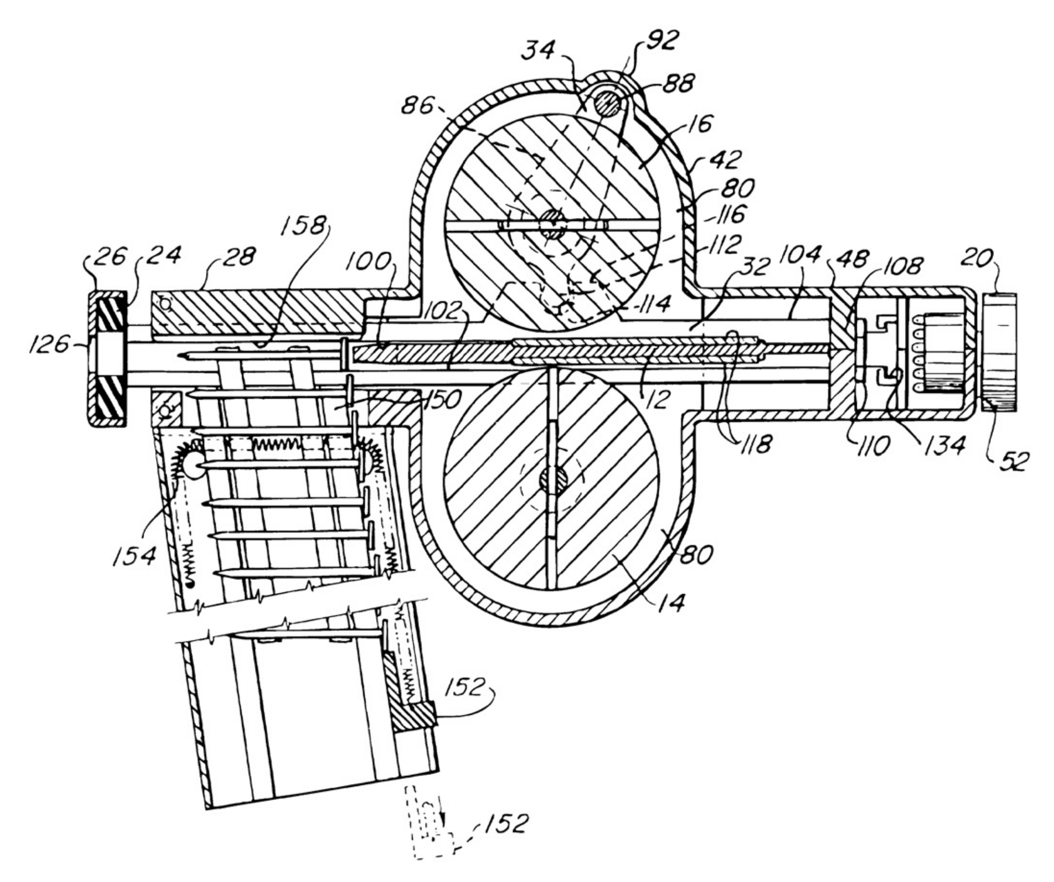


FIGURA 7-5 Concepto de patente de una pistola de clavos de doble volante y accionada por un motor (U.S. Patent 4,042,036). El texto que describe la patente está adjunto en nueve páginas.

La búsqueda electrónica es a veces la forma más eficiente de recopilar información de literatura publicada. Buscar en internet es a veces un buen primer paso, aun cuando la calidad de los resultados puede ser difícil de evaluar. Bases de datos más estructuradas se encuentran disponibles en línea. Numerosas bases de datos guardan sólo extractos de artículos y no todo el texto ni diagramas. Una búsqueda de seguimiento para un artículo en particular se hace a veces necesaria para completar la información. Las dos principales dificultades al efectuar buenas búsquedas en bases de datos son determinar las palabras clave y limitar el propósito de la búsqueda. Hay una concesión entre la necesidad de usar más palabras clave para una cobertura completa y la necesidad de restringir el número de respuestas a un número manejable.

Los manuales que contienen catálogos de información técnica también pueden ser una bibliografía muy útil para búsqueda externa. Ejemplos de estas bibliografías son *Marks' Standard Handbook of Mechanical Engineering*, *Perry's Chemical Engineers' Handbook* y *Mechanisms and Mechanical Devices Sourcebook.*

El equipo de diseño de la pistola de clavos encontró varios artículos útiles relacionados con los subproblemas, por ejemplo, sobre almacenamiento de energía que describen tecnolo-

gías de volantes y batería. En un manual halló un mecanismo de herramienta de impacto que proporcionaba un útil concepto de conversión de energía.

Benchmark (comparación) de productos relacionados

En el contexto de generación de un concepto, *benchmarking* es el estudio de productos existentes con funcionalidad similar a la del producto en desarrollo o a los subproblemas en los que está concentrado el equipo. El *benchmarking* puede revelar conceptos existentes que se han puesto en práctica para resolver un problema particular, así como información sobre puntos fuertes y débiles de la competencia.

En este punto, es probable que el equipo ya se encuentre familiarizado con productos de la competencia estrechamente relacionados. Los productos en otros mercados, pero con funcionalidad relacionada, son más difíciles de hallar. Una de las fuentes más útiles de esta información es el *Thomas Register*, directorio de fabricantes de productos industriales organizado por tipo de producto. A veces la parte más difícil al usar el *Thomas Register* es averiguar cómo se nombran realmente los productos relacionados y cómo están catalogados. El *Thomas Register* se puede consultar vía internet.

Para la pistola de clavos, los productos más estrechamente relacionados fueron una herramienta accionada con pólvora, de un solo tiro para clavar en concreto, una pistola neumática de clavos para uso en fábricas y una pistola manual, neumática y de tiros múltiples para clavos. Los productos con funcionalidad relacionada (en este caso, almacenamiento y conversión de energía) incluyeron bolsas de aire activadas por el propelente azida de sodio empleado como fuente de energía, calentadores químicos de manos para esquiar, escopetas de aire accionadas por cartuchos de dióxido de carbono, así como computadoras portátiles y sus paquetes de baterías. El equipo obtuvo y desensambló casi todos estos productos relacionados para descubrir los conceptos generales en los que estaban basados, así como información más detallada que incluía, por ejemplo, los nombres de los proveedores de componentes específicos.

La búsqueda externa es un importante método de reunir conceptos de solución. La experiencia para realizar búsquedas externas es por lo tanto una propiedad personal y de organización muy valiosa. Esta capacidad se puede desarrollar mediante una cuidadosa observación del mundo para crear una base de datos mental de tecnologías y a través de una red de contactos profesionales. Incluso con ayuda de conocimiento personal y contactos, la búsqueda externa sigue siendo un "trabajo detectivesco" y es completada de manera más eficiente por quienes son persistentes y tienen recursos para la búsqueda de pistas y oportunidades.

Paso 3: Buscar internamente

La búsqueda interna es el uso del conocimiento personal y del equipo, así como de creatividad, para generar conceptos de solución. A menudo llamada "lluvia de ideas", este tipo de búsqueda es *interna* debido a que todas las ideas que emergen de este paso son creadas a partir de los conocimientos que poseen los miembros del equipo. Esta actividad puede ser la más abierta, extensa y creativa de cualquiera en el desarrollo de un nuevo producto. Encontramos útil pensar en una búsqueda interna como un proceso de recuperar una pieza potencialmente útil de información de nuestra memoria y luego adaptar esa información al problema que se tenga a la mano. Este proceso puede ser realizado por personas que trabajen en forma individual o por un grupo donde varios trabajen juntos.

Cuatro directrices son útiles para mejorar la búsqueda interna individual y de grupo:

1. ***Suspender juicio.*** En casi todos los aspectos de la vida, el éxito depende de la capacidad para evaluar un conjunto de alternativas y tomar una decisión. Por ejemplo, ninguno de nosotros sería muy productivo si el decidir qué ropa ponerse por la mañana o qué comer en el desayuno implicara un largo tiempo para generar alternativas antes de formarse un juicio. Debido a que casi todas las decisiones en nuestra vida diaria tienen implicaciones de sólo unos minutos u horas, estamos acostumbrados a tomar decisiones con rapidez y seguir nuestro camino. La generación de conceptos para el desarrollo de un producto es fundamentalmente distinto. Tenemos que vivir con las consecuencias de las decisiones sobre el concepto de un producto por varios años. Por lo tanto, suspender la evaluación durante los días o semanas necesarios para generar un gran conjunto de alternativas es crítico para el éxito. Es frecuente que lo imperativo de suspender un juicio se traduzca en la regla de que durante las sesiones de generación de conceptos del equipo no se permiten críticas al concepto. Un mejor enfoque para las personas es la percepción de las debilidades en los conceptos a fin de cambiar las tendencias de juicio en sugerencias para mejoras o conceptos alternos.
2. ***Generar muchas ideas.*** La mayoría de expertos piensan que entre más ideas genere un equipo, es más probable que explore por completo el espacio de solución. Al esforzarse en la cantidad se reducen las expectativas de calidad para cualquier idea en particular y, por lo tanto, puede estimular a las personas a compartir ideas que de otro modo pudieran verse como que no merecen ni ser mencionadas. Además, cada idea actúa como un estímulo para otras ideas, de modo que un gran número de ideas tiene el potencial de estimular incluso más ideas.
3. ***Dar la bienvenida a ideas que puedan parecer no factibles.*** Las ideas que inicialmente parezcan no factibles pueden ser mejoradas, “depuradas” o “reparadas” por otros miembros del equipo. Cuanto menos factible sea una idea, más alarga las fronteras del espacio de solución y estimula al equipo a pensar en los límites de posibilidad. En consecuencia, las ideas no factibles son bastante valiosas y su expresión debe ser estimulada.
4. ***Usar medios gráficos y físicos.*** Razonar acerca de información física o geométrica con palabras es difícil. Por inherencia el texto y el lenguaje verbal son vehículos poco eficientes para describir entidades físicas. Ya sea que se trabaje en grupo o en forma individual, debe haber numerosos bosquejos. La espuma, arcilla, cartón y otros medios tridimensionales también pueden ser de ayuda en problemas que requieran de un entendimiento exhaustivo de relaciones de forma y espacio.

Sesiones tanto individuales como de grupo pueden ser útiles

Estudios formales de resolución de problemas en grupo e individuales sugieren que un conjunto de personas, que trabajen solas durante un tiempo, van a generar más y mejores conceptos que las mismas personas trabajando juntas durante el mismo periodo (McGrath, 1984). Este hallazgo es contrario a las prácticas reales de numerosas empresas que realizan casi todas sus actividades de generación de conceptos en sesiones grupales. Nuestras observaciones confirman los estudios formales, y pensamos que los miembros de un equipo deben pasar al menos parte de su tiempo asignado a la generación de conceptos trabajando solos. También pensamos que las sesiones de equipo son de importancia crítica para formar consenso, comunicar información y refinar conceptos. En un escenario ideal, cada persona del equipo pasaría varias horas trabajando solo y luego el equipo se reuniría para examinar y mejorar los conceptos generados por individuos.

No obstante, también sabemos que hay una razón práctica para llevar a cabo sesiones de generación de conceptos en equipo: es una forma de garantizar que las personas del equipo dedicarán cierto tiempo al trabajo. En especial en ambientes de trabajo muy intenso y demandante, sin hacer un calendario de reuniones, pocas personas asignarán varias horas para trabajo individual concentrado en la generación de nuevos conceptos. El teléfono suena, las personas interrumpen, los problemas urgentes demandan atención. En ciertos ambientes, las sesiones programadas de grupo pueden ser la única forma de garantizar que se pone suficiente atención a la actividad de generar conceptos.

El equipo de la pistola de clavos utilizó trabajo individual y sesiones de grupo para búsqueda interna. Por ejemplo, durante una semana en particular, a cada uno de los miembros se le asignaron uno o dos subproblemas y se esperaba que desarrollaran al menos 10 conceptos de solución. Esto dividió el trabajo de generación de conceptos entre todos los miembros. El grupo se reunió entonces para analizar el problema y abundar en los conceptos generados de manera individual. Los conceptos más promisorios se investigaron a mayor profundidad.

Sugerencias para generar conceptos de solución

En general, las personas y equipos con experiencia sólo pueden tomar asiento y empezar a generar buenos conceptos para un subproblema. Es frecuente que estas personas hayan desarrollado un conjunto de técnicas que usan para estimular sus ideas, y estas técnicas se han convertido en parte natural de su proceso de resolución de problemas. Los profesionales novatos en el desarrollo de productos pueden ser auxiliados por un conjunto de sugerencias que impulsan nuevas ideas o incentivan relaciones entre ideas. VanGundy (1988), Von Oech (1998) y McKim (1980) dan docenas de sugerencias útiles. Veamos aquí algunas sugerencias que hemos hallado de gran ayuda:

- ***Hacer analogías.*** Los diseñadores experimentados siempre se preguntan si otros dispositivos resuelven un problema relacionado. Es frecuente que se pregunten si hay una analogía natural o biológica al problema. Pensarán si su problema existe a una escala dimensional mucho mayor o menor que aquella que están considerando. Preguntarán qué equipos hacen algo semejante en un campo de aplicación no relacionado. El equipo de la pistola de clavos, cuando planteó estas preguntas, se dio cuenta de que los martinetes para pilotes de construcción son semejantes a las pistolas de clavos en algunos aspectos. Al seguir esta idea, desarrolló el concepto de una herramienta de impactos múltiples.
- ***Desear y preguntarse.*** Empezar una idea con las expresiones: "Ojalá pudiéramos…" o "me pregunto qué pasaría si…", ayuda a estimularse uno mismo o al equipo para considerar nuevas posibilidades. Estas preguntas causan reflexión sobre las fronteras del problema. Por ejemplo, un miembro del equipo de la pistola de clavos, cuando se vio frente a la longitud requerida de una pistola eléctrica (un aparato electromagnético para acelerar un proyectil) para meter un clavo, dijo: "Desearía que la herramienta midiera un metro de largo". El análisis de este comentario llevó a la idea de que quizá una herramienta larga podría usarse como un bastón para clavar pisos, lo que permitiría a los usuarios permanecer de pie.
- ***Usar estímulos relacionados.*** La mayoría de las personas puede pensar en una nueva idea cuando se les presenta un nuevo estímulo. Los estímulos relacionados son los generados en el contexto del problema a la mano. Por ejemplo, una forma de usar estímulos relacionados es que cada individuo en una sesión de grupo genere una lista de ideas (trabajando solo) y luego pase la lista a su vecino. Al reflexionar sobre las ideas de alguien,

casi todos pueden generar nuevas ideas. Otros estímulos relacionados incluyen declaraciones de necesidades de clientes y fotografías del ambiente de uso del producto.

- ***Usar estímulos no relacionados.*** Ocasionalmente, los estímulos aleatorios o no relacionados pueden ser eficaces para activar nuevas ideas. Un ejemplo de esta técnica es elegir una fotografía, al azar, de un conjunto de fotografías de objetos y luego pensar en alguna forma en que el objeto de la fotografía pudiera relacionarse con el problema a la mano. En una variante de esta idea, las personas pueden ir a la calle con cámaras digitales para captar imágenes aleatorias para uso subsiguiente en estimular nuevas ideas. (Esto puede servir también como un buen cambio de ritmo para un grupo cansado.)
- ***Establecer objetivos cuantitativos.*** Generar nuevas ideas puede ser agotador. Cerca del final de una sesión, personas y grupos pueden hallar que los objetivos cuantitativos son útiles como fuerza motivadora. El equipo de la pistola de clavos frecuentemente hacía asignaciones individuales de generación de conceptos con objetivos cuantitativos de 10 a 20 conceptos.
- ***Usar el método de galería.*** El *método de galería* es una forma de mostrar un gran número de conceptos simultáneamente para examinarlos. Los bosquejos, por lo general un concepto por hoja, se pegan o clavan a la pared del salón de juntas. Los miembros del equipo circulan y ven cada concepto. El creador del concepto puede ofrecer una explicación y a continuación el grupo hace sugerencias para mejorar el concepto, o bien, de manera espontánea genera conceptos relacionados. Este método es una buena forma de unir trabajo individual y de grupo.

En la década de 1990, la metodología rusa de resolución de problemas llamada TRIZ (acrónimo ruso para *teoría de solución de problemas de inventiva*) empezó a diseminarse en Europa y Estados Unidos. TRIZ es muy útil para identificar principios físicos de trabajo para resolver problemas técnicos. La idea fundamental de TRIZ es identificar una contradicción que está implícita en un problema. Por ejemplo, una contradicción en el problema de la pistola de clavos podría ser que un incremento en la potencia (una característica deseable) también tendería a aumentar el peso (una característica indeseable). Una de las herramientas de TRIZ es una matriz de 39 por 39 características, con cada celda correspondiente a un conflicto particular entre dos características. En cada celda de la matriz, hasta cuatro principios físicos se sugieren como formas para resolver el conflicto correspondiente. Hay 40 principios básicos que incluyen, por ejemplo, el principio de *acción periódica* (es decir, cambiar una acción continua por una acción periódica, como un impulso). Usando TRIZ, el equipo de la pistola de clavos podría haber llegado al concepto de usar repetidos impactos más pequeños para meter el clavo. La idea de identificar un conflicto en el problema de diseño y luego pensar en formas de resolver el conflicto parece ser una heurística muy útil para resolver problemas. Este método puede ser útil para generar conceptos incluso sin adoptar toda la metodología TRIZ.

La figura 7-6 muestra algunas de las soluciones que el equipo de la pistola de clavos generó para los subproblemas de (1) almacenar o aceptar energía y (2) entregar energía traslacional a un clavo.

Paso 4: Explorar sistemáticamente

Como consecuencia de las actividades de búsqueda externa e interna, el equipo habrá recolectado decenas o cientos de *fragmentos* de conceptos, es decir, soluciones a los subproblemas. La exploración sistemática está destinada a navegar el espacio de posibilidades al organizar y sin-

Soluciones al subproblema de almacenar o aceptar energía	Soluciones al subproblema de aplicar energía traslacional al clavo
• Reacción química autorreguladora que emite gas a alta presión • Carburo (como para linternas) • Aserrín combustible del lugar de trabajo • Pólvora • Azida de sodio (explosivo de bolsa de aire) • Combustión de combustible-aire (butano, propano, acetileno, etcétera) • Aire comprimido (en tanque o de compresor) • Dióxido de carbono en tanque • Tomacorriente y extensión • Línea de aceite a alta presión (hidráulica) • Volante con carga (giratorio) • Paquete de baterías en herramienta, banda o piso • Celda de combustible • Energía humana: brazos o piernas • Metano de materiales orgánicos en descomposición • "Quemado" como la de calentadores químicos de manos • Reacciones nucleares • Fusión en frío • Celdas solares eléctricas • Conversión solar en vapor • Línea de alimentación de vapor • Viento • Geotérmica	Un solo impacto Impactos múltiples (decenas o cientos) Impactos múltiples (cientos o miles) Empujar Torcer y empujar

FIGURA 7-6 Algunas de las soluciones a los subproblemas de 1) almacenar o aceptar energía y 2) entregar energía traslacional a un clavo.

tetizar estos fragmentos de solución. El equipo de la pistola de clavos se enfocó en los subproblemas de almacenamiento, conversión y entrega de energía y había generado docenas de fragmentos de conceptos para cada subproblema. Un método para organizar y sintetizar estos fragmentos sería considerar todas las posibles combinaciones de los fragmentos asociadas con cada uno de los subproblemas; no obstante, un poco de aritmética deja ver la imposibilidad de este método. Dados los tres subproblemas en los que el equipo se enfocó y un promedio de 15 fragmentos por cada subproblema, el equipo tendría que considerar 3 375 combinaciones de fragmentos (15 × 15 × 15). Éste sería un trabajo desalentador hasta para el equipo más entusiasta. Además, el equipo rápidamente descubriría que muchas de las combinaciones ni siquiera tenían sentido. Por fortuna, hay dos herramientas específicas para manejar esta complejidad y organizar el pensamiento del equipo: el *árbol de clasificación de conceptos* y la *tabla de combinación de conceptos*. El árbol de clasificación ayuda al equipo a dividir las posibles soluciones en categorías independientes. La tabla de combinación guía al equipo a considerar combinaciones de fragmentos de una manera selectiva.

Árbol de clasificación de conceptos

El árbol de clasificación de conceptos se emplea para dividir todo el espacio de posibles soluciones en varias clases que facilitarán la comparación y eliminación. Un árbol para el ejemplo de la pistola de clavos se muestra en la figura 7-7. Las ramas de este árbol corresponden a diferentes fuentes de energía.

El árbol de clasificación proporciona al menos cuatro importantes beneficios:

1. ***Eliminar las ramas menos promisorias:*** Si al estudiar el árbol de clasificación el equipo puede identificar un método de solución que no parezca tener mucho mérito, se puede eliminar para que el equipo enfoque su atención en las ramas más promisorias del árbol. Eli-

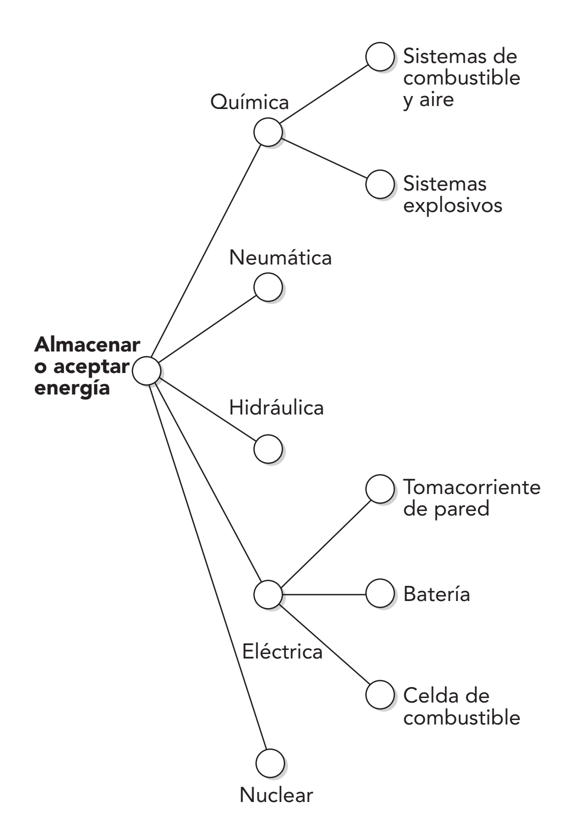


FIGURA 7-7 Árbol de clasificación para los fragmentos del concepto de fuente de energía para la pistola de clavos.

minar una rama del árbol requiere cierta evaluación y juicio y por lo tanto debe hacerse con cuidado, pero la realidad en el desarrollo del producto es que hay recursos limitados y que enfocar los recursos disponibles en las direcciones más promisorias es un importante factor de éxito. Para el equipo de la pistola de clavos, la fuente de energía nuclear fue eliminada de consideración. Aun cuando el equipo había identificado algunos equipos nucleares muy curiosos para usarlos en dar energía a corazones artificiales, pensaron que estos equipos no serían económicamente prácticos durante al menos una década y es probable que requisitos reguladores les pondrían obstáculos indefinidamente.

2. ***Identificación de métodos independientes para el problema:*** Cada rama del árbol puede ser considerada como un método diferente para resolver el problema general. Algunos de estos métodos pueden ser casi por completo independientes entre sí. En otros casos, el equipo puede limpiamente dividir su trabajo entre dos o más personas o grupos de trabajo. Cuando dos métodos parecen promisorios, esta división del trabajo puede reducir la complejidad de las actividades de generación de conceptos. También puede generar alguna competencia sana entre los métodos en consideración. El equipo de la pistola de clavos halló que las ramas de química/explosivo y eléctrica parecieron bastante promisorias. Asignaron estos dos métodos a dos subgrupos diferentes y los siguieron de manera independiente por varias semanas.
3. ***Exposición de énfasis inapropiado en ciertas ramas:*** Una vez construido el árbol, el equipo puede reflexionar rápidamente acerca de si el trabajo aplicado a cada rama se ha asignado de manera apropiada. El equipo de la pistola de clavos reconoció que se esforzó muy poco para idear fuentes de energía hidráulica y tecnologías de conversión. Este reconocimiento los guió a enfocarse en esta rama del árbol durante algunos días.
4. ***Refinamiento de la descomposición del problema para una rama particular:*** A veces la descomposición de un problema puede adaptarse de manera útil a un método dedicado al problema. Considere la rama del árbol correspondiente a la fuente de energía eléctrica. Con base en más investigación del proceso de clavado, el equipo determinó que la energía instantánea entregada durante el proceso de clavado era de casi 10 000 watts durante algunos milisegundos y por lo tanto excede a la energía que se puede obtener de un tomacorriente de pared, de una batería o de una celda de combustible (de tamaño, costo y masa razonables). Concluyeron, por lo tanto, que la energía debe acumularse en un periodo considerable del ciclo de clavado (por ejemplo, 100 milisegundos) y luego accionarlo de pronto para proporcionar la potencia instantánea requerida para meter el clavo. Este rápido análisis llevó al equipo a agregar una subfunción ("acumular energía traslacional") a su diagrama funcional (vea figura 7-8). Seleccionaron agregar la subfunción

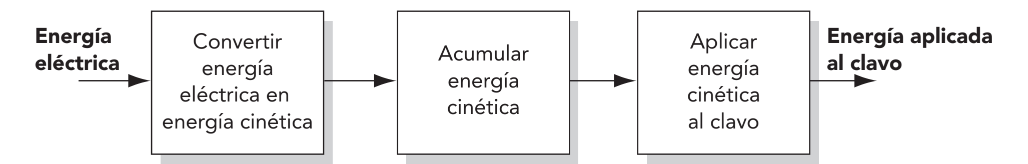


FIGURA 7-8 Una nueva descomposición del problema que supone una fuente de energía eléctrica y la acumulación de energía en el dominio mecánico.

después de la conversión de energía eléctrica en energía mecánica, pero de un modo muy breve consideraron la posibilidad de acumular la energía en el dominio eléctrico con un capacitor. Esta clase de refinamiento del diagrama de funciones es muy común cuando el equipo hace más suposiciones acerca del método y a medida que se reúne más información.

El árbol de clasificación de la figura 7-7 muestra las soluciones alternativas al subproblema de fuente de energía, pero hay otros árboles posibles. El equipo podría haber escogido usar un árbol que clasificara las soluciones alternativas al subproblema de entrega de energía, que mostrara ramas para un solo impacto, impactos múltiples o empujar. Se pueden construir árboles con ramas correspondientes a los fragmentos de solución de cualquiera de los subproblemas, pero ciertas clasificaciones son más útiles. En general, un subproblema cuya solución restringe en alto grado las posibles soluciones a los subproblemas restantes es un buen candidato para árbol de clasificación. Por ejemplo, la selección de fuente de energía (eléctrica, nuclear, neumática, etc.) restringe si un motor o un pistón-cilindro se pueden usar para convertir la energía en energía traslacional. En contraste, la selección de mecanismo de entrega de energía (un solo impacto, impactos múltiples, etc.) no restringe en forma significativa las soluciones a los otros subproblemas. Por lo general, la reflexión sobre cuál subproblema es probable que restrinja en mayor medida las soluciones a los subproblemas restantes, llevará a una o dos formas claras de construir el árbol de clasificación.

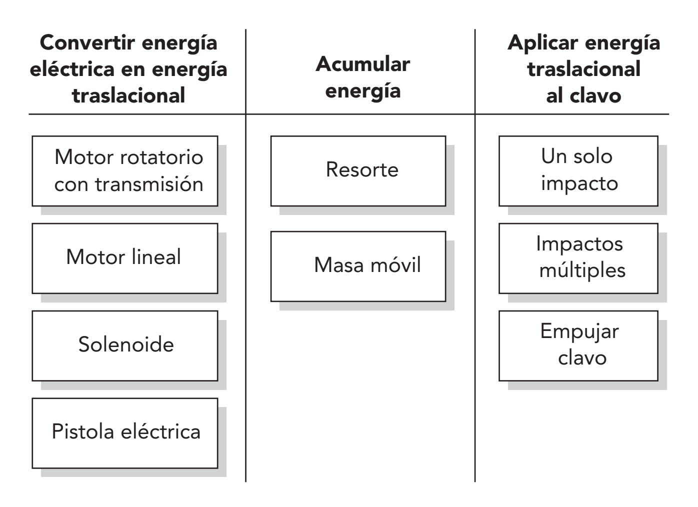


FIGURA 7-9 Tabla de combinación de concepto para la pistola manual de clavos.

Tabla de combinación de conceptos

La tabla de combinación de conceptos contiene una forma de considerar en forma sistemática combinaciones de fragmentos de solución. La figura 7-9 muestra un ejemplo de una tabla de combinación que el equipo de la pistola de clavos usó para considerar las combinaciones de fragmentos para la rama eléctrica del árbol de clasificación. Las columnas de la tabla corresponden a los subproblemas identificados en la figura 7-8. Las entradas de cada columna corresponden a los fragmentos de solución para cada uno de estos subproblemas derivados de la búsqueda externa e interna. Por ejemplo, el subproblema de convertir energía eléctrica en energía cinética es el en-

cabezado para la primera columna. Las entradas de esta columna son un motor rotatorio con transmisión, un motor lineal, un solenoide y una pistola eléctrica.

Las soluciones potenciales al problema general se forman al combinar un fragmento de cada columna. Para el ejemplo de la pistola de clavos, hay 24 posibles combinaciones (4 × 2 × 3). Seleccionar una combinación de fragmentos no lleva de manera inmediata a una solución para el problema general. La combinación de fragmentos debe por lo general desarrollarse y refinarse antes de que pueda haber una solución integrada. Este desarrollo puede incluso no ser posible o puede llevar a más de una solución, pero como mínimo requiere de más pensamiento creativo. De cierta forma, la tabla de combinación es simplemente una manera de hacer asociaciones forzadas entre fragmentos para estimular más el pensamiento creativo; el mero acto de seleccionar una combinación de ningún modo dará una solución completa.

La figura 7-10 muestra un bosquejo de un concepto que surge de la combinación de los fragmentos “solenoide”, “resorte” y “múltiples impactos”. La figura 7-11 muestra algunos bosquejos de conceptos que surgen de la combinación de los fragmentos “motor rotatorio con transmisión”, “resorte” y “un solo impacto”. La figura 7-12 muestra un bosquejo de un concepto que surge de la combinación de “motor rotatorio con transmisión”, “resorte” y “múltiples impactos”. La figura 7-13 muestra algunos bosquejos de conceptos que surgen de la combinación de “motor lineal”, “masa móvil” y “un solo impacto”.

Dos directrices facilitan el proceso de combinación de conceptos. Primero, si un fragmento se puede eliminar por no ser factible antes de combinarlo con otros fragmentos, entonces el número de combinaciones que el equipo necesita considerar se reduce de manera importante. Por ejemplo, si el equipo pudiera determinar que la pistola eléctrica no sería factible bajo ninguna condición, podrían reducir el número de combinaciones de 24 a 18. En segundo término, la tabla de combinación de conceptos debe concentrarse en los subproblemas que estén acoplados. Los subproblemas acoplados son aquellos cuyas soluciones se pueden evaluar sólo en combinación con las soluciones a otros subproblemas. Por ejemplo, la selección

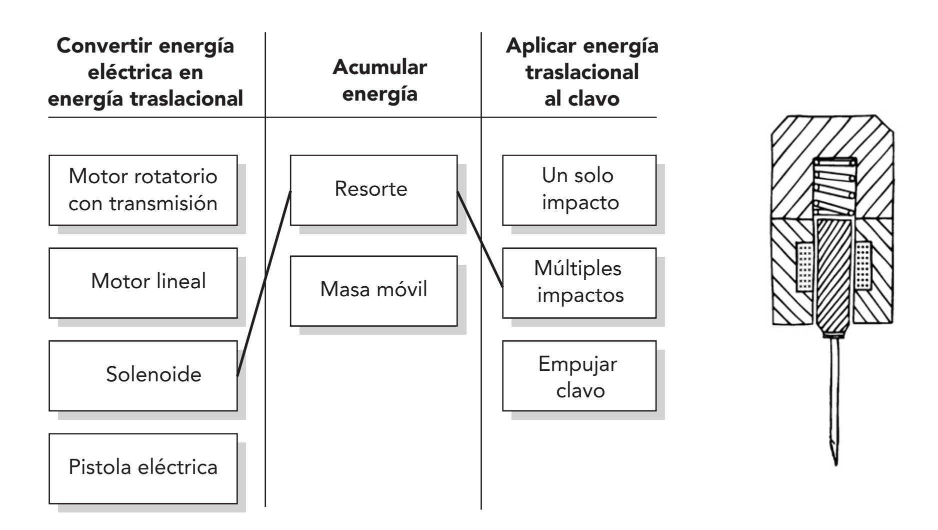


FIGURA 7-10 En este concepto de solución, un solenoide comprime un resorte y luego lo suelta repetidas veces para meter el clavo con múltiples impactos.

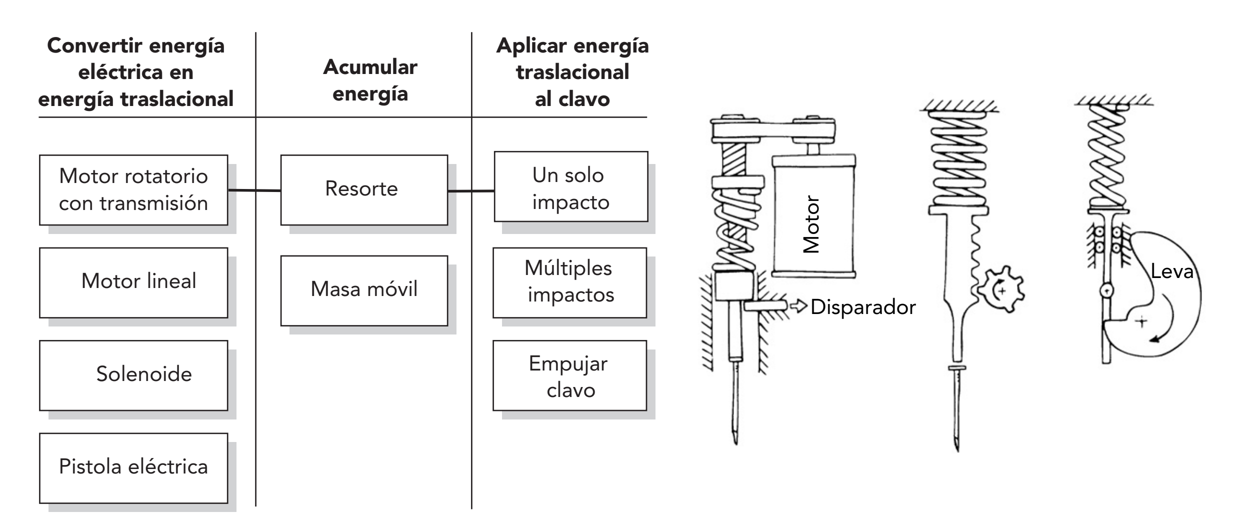


FIGURA 7-11 Soluciones múltiples que surgen de la combinación de un motor con transmisión, un resorte y un solo impacto. El motor mueve un resorte, acumulando energía potencial que luego se entrega al clavo en un solo impacto.

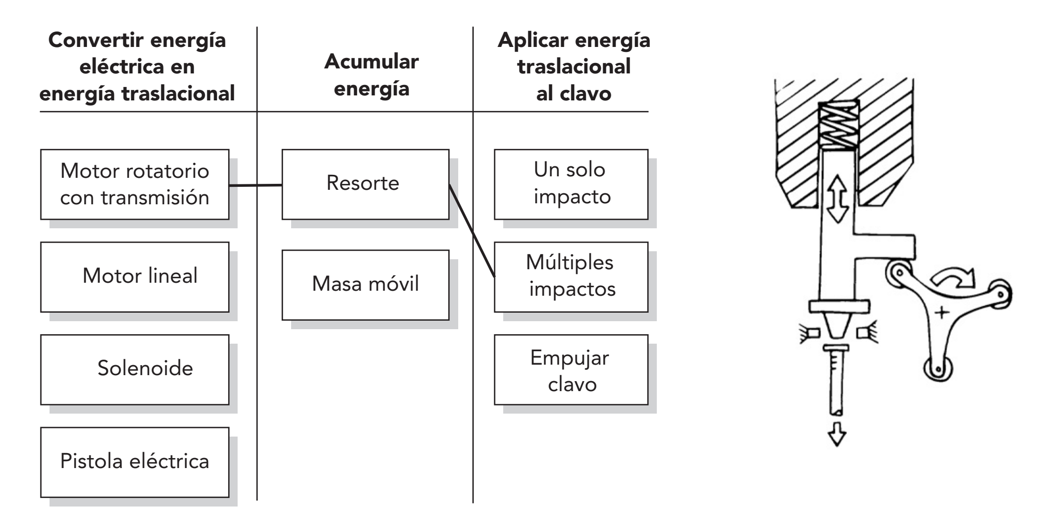


FIGURA 7-12 Solución de la combinación de un motor con transmisión, un resorte y múltiples impactos. El motor da cuerda y suelta el resorte repetidas veces, almacenando y entregando energía en varios impactos.

de la fuente específica de energía eléctrica a usar (como la batería contra tomacorriente), aunque extremadamente crítica, es un tanto independiente de la selección de conversión de energía (por ejemplo, motor contra solenoide). Por lo tanto, la tabla de combinación de concepto no necesita contener una columna para los diferentes tipos de fuentes de energía eléctrica. Esto reduce el número de combinaciones que el equipo debe considerar. Como cuestión prác-

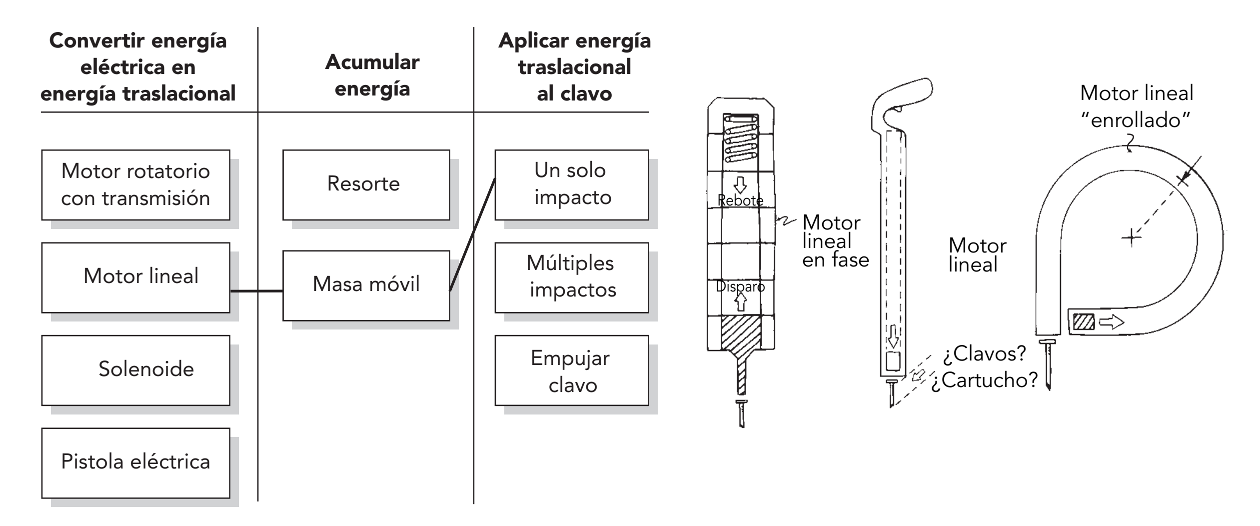


FIGURA 7-13 Soluciones de la combinación de un motor lineal, una masa móvil y un solo impacto. Un motor lineal acelera un martillo de grandes dimensiones, acumulando energía cinética que es entregada al clavo en un solo golpe.

tica, las tablas de combinación de concepto pierden su utilidad cuando el número de columnas excede de tres o cuatro.

Gestión del proceso de exploración

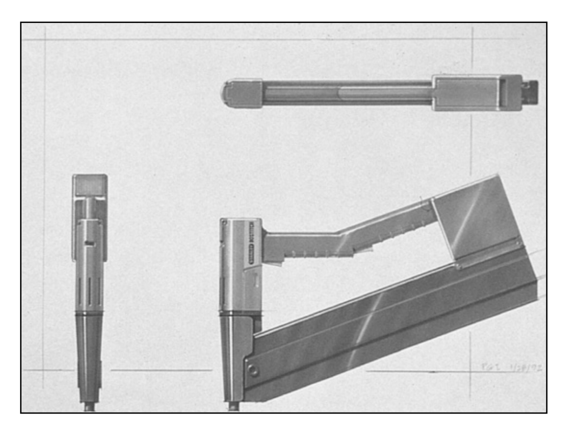
El árbol de clasificación y tablas de combinación son herramientas que un equipo puede usar con flexibilidad. Son formas sencillas de organizar el pensamiento y guiar la energía creativa del equipo. Raras veces los equipos generan sólo un árbol de clasificación y una tabla de combinación de concepto. Con más frecuencia, el equipo crea varios árboles de clasificación alternativos y varias tablas de combinación de conceptos. Intercalada con esta actividad de exploración puede estar una refinación de la descomposición del problema original o el trabajo de más búsqueda interna o externa. El paso de exploración de generación de conceptos suele ser más una guía para más pensamiento creativo que el paso final del proceso.

Recuerde que al principio del proceso el equipo selecciona algunos subproblemas sobre los cuales concentra su atención. En última instancia, el equipo debe regresar para resolver todos los subproblemas. Esto suele ocurrir después de que el equipo ha reducido el margen de alternativas para los subproblemas críticos. El equipo de la pistola de clavos redujo sus alternativas a unos pocos conceptos químicos y eléctricos para luego refinarlos resolviendo los problemas de interfase del usuario, diseño industrial y configuración. Una de las descripciones de concepto resultantes se muestra en la figura 7-14.

Paso 5: Reflexionar sobre las soluciones y el proceso

Aun cuando por comodidad en la presentación el paso de reflexión se coloca aquí al final, la reflexión debe efectuarse en todo el proceso. Las preguntas a formular incluyen:

- ¿El equipo está desarrollando confianza en que el espacio de solución se ha explorado en su totalidad?



Cortesía de Product Genesis, Inc.

FIGURA 7-14 Uno de varios conceptos de solución refinados.

- ¿Hay diagramas funcionales alternativos?
- ¿Hay formas alternativas de descomponer el problema?
- ¿Se han trabajado en su totalidad las fuentes externas?
- ¿Las ideas de todos han sido aceptadas e integradas en el proceso?

Los miembros del equipo de la pistola de clavos analizaron si habían concentrado demasiada atención en problemas de almacenamiento y conversión de energía en la herramienta, y también si pasaron por alto la interfase del usuario y la configuración general. Decidieron que los problemas de energía permanecieron en el "corazón" del problema y que la decisión de ellos para concentrarse primero en estos problemas estuvo justificada. También se preguntaron si habían trabajado demasiadas ramas del árbol de clasificación. Inicialmente habían trabajado en conceptos eléctricos, químicos y neumáticos antes de que al final acordaran un concepto eléctrico. En retrospectiva, el método químico tenía algunos inconvenientes obvios de seguridad y percepción del cliente (estaban explorando el uso de explosivos como fuente de energía). Decidieron que aun cuando les gustaban algunos aspectos de la solución química, debieron haberla eliminado de consideración en las primeras etapas del proceso, para dar más tiempo a trabajar algunas de las ramas más promisorias en mayor detalle.

El equipo exploró varios de estos conceptos con mayor detalle y construyó prototipos funcionales de pistolas de clavos que incorporaban dos direcciones fundamentalmente distintas: 1) un motor que daba cuerda a un resorte con energía liberada en un solo golpe y 2) un motor con masa giratoria que repetidas veces golpeaba al clavo a una rapidez de alrededor de 10 ciclos por segundo hasta que el clavo quedaba metido por completo. Por último, la herramienta de múltiples impactos demostró ser el método más factible desde el punto de vista técnico y el producto final (figura 7-1) estuvo basado en este concepto.

Resumen

El concepto de un producto es una descripción aproximada de la tecnología, principios de operación y forma del producto. El grado en que un producto satisface a clientes y puede ser comercializado con éxito, depende en gran medida de la calidad del concepto básico.

- El proceso de generación de conceptos se inicia con un conjunto de necesidades del cliente y especificaciones objetivo, y resulta en un conjunto de conceptos del producto de los que el equipo hará una selección final.
- En casi todos los casos, un equipo eficiente de desarrollo generará cientos de conceptos, de los cuales de cinco a 20 merecerán consideración seria durante la subsiguiente actividad de selección del concepto.
- El método de generación de conceptos presentado en este capítulo consiste en cinco pasos:

1. ***Aclarar el problema.*** Entender el problema y descomponerlo en subproblemas más sencillos.
2. ***Buscar externamente.*** Reunir información de usuarios líderes, expertos, patentes, literatura publicada y productos relacionados.
3. ***Buscar internamente.*** Usar métodos individuales y de grupo para recuperar y adaptar el conocimiento del equipo.
4. ***Explorar sistemáticamente.*** Usar árboles de clasificación y tablas de combinación para organizar el pensamiento del equipo y sintetizar fragmentos de solución.
5. ***Reflexionar sobre las soluciones y el proceso.*** Identificar oportunidades para mejorar en las subsiguientes iteraciones o en proyectos futuros.

- Aun cuando por inherencia la generación de conceptos es un proceso creativo, los equipos pueden beneficiarse usando un método estructurado. Dicho método permite la exploración completa del espacio de diseño y reduce la probabilidad de descuidar los tipos de conceptos de solución considerados. También sirve como mapa a los miembros del equipo que son menos experimentados en resolver problemas de diseño.
- A pesar de la presentación lineal del proceso de generación de conceptos en este capítulo, es probable que el equipo regrese varias veces a cada uno de los pasos del proceso. La iteración es particularmente común cuando el equipo está desarrollando un producto radicalmente nuevo.
- Los profesionales que sean buenos en la generación de conceptos parecen siempre estar en gran demanda como miembros del equipo. Contrario a la creencia popular, pensamos que la generación de conceptos es una habilidad que se puede aprender y desarrollar.

Referencias y bibliografía

Existen numerosos recursos actuales en internet **www.ulrich-eppinger.net**

Pahl y Beitz fueron la fuerza creadora detrás de los métodos de diseño estructurado en Alemania. Adaptamos muchas de sus ideas para descomposición funcional.

Pahl, Gerhard, Wolfgang Beitz, Jörg Feldhusen y Karl-Heinrich Grote, *Engineering Design,* tercera edición, K. Wallace y L. Blessing, traductores, Springer-Verlag, Nueva York, 2007.

Hubka y Eder han escrito en una forma detallada sobre la generación sistemática de conceptos para productos técnicos.

Hubka, Vladimir y W. Ernst Eder, *Theory of Technical Systems: A Total Concept Theory for Engineering Design*, Springer-Verlag, Nueva York, 1988.

Von Hippel publica su investigación empírica sobre las fuentes de productos nuevos. Su argumento central es que los usuarios líderes son los innovadores en muchos mercados.

Von Hippel, Eric, *The Sources of Innovation,* Oxford University Press, Nueva York, 1988.

VanGundy presenta docenas de métodos para resolución de problemas, muchos de los cuales son directamente aplicables a la generación de conceptos de producto.

VanGundy, Arthur B., Jr., *Techniques of Structured Problem Solving,* segunda edición, Van Nostrand Reinhold, Nueva York, 1988.

Von Oech proporciona docenas de buenas ideas para mejorar el trabajo creativo individual y de grupo.

Von Oech, Roger, *A Whack on the Side of the Head: How You Can Be More Creative,* edición revisada, Warner Books, Nueva York, 1998.

Terwiesch y Ulrich presentan varios consejos útiles para generar ideas como entradas para la búsqueda de oportunidades sobresalientes. Se aplican muchos de los mismos enfoques al concepto de actividad de generación.

Terwiesch, Christian, y Karl T. Ulrich, *Innovation Tournaments: Creating and Selecting Exceptional Opportunities*, Harvard Business Press, Boston, mayo de 2009.

McKim presenta un método holístico para desarrollar habilidad para pensar en forma creativa en personas y grupos.

McKim, Robert H., *Experiences in Visual Thinking*, segunda edición, Brooks/Cole Publishing, Monterey, CA, 1980.

Una interesante investigación sobre un conjunto de “plantillas” estándar para identificar conceptos de productos novedosos ha sido realizada por Goldenberg y Mazursky.

Goldenberg, Jacob y David Mazursky, *Creativity in Product Innovation*, Cambridge University Press, Cambridge, 2002.

Las siguientes son dos de las mejores publicaciones en inglés sobre TRIZ.

Altshuller, Genrich, *40 Principles: TRIZ Keys to Technical Innovation*, Technical Innovation Center, Worcester, MA, 1998.

Terninko, John, Alla Zusman, y Boris Zlotin, *Systematic Innovation: An Introduction to TRIZ,* St. Lucie Press, Boca Ratón, FL, 1998.

McGrath presenta estudios que comparan el trabajo relativo de grupos y personas al generar nuevas ideas.

McGrath Joseph E., *Groups: Interaction and Performance*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1984.

Los manuales de ingeniería son fuentes de información útiles sobre soluciones técnicas estándar. Tres buenos manuales son:

Avallone, Eugene A., Theodore Baumeister III, y Ali Sadegh (eds.), *Marks' Standard Handbook of Mechanical Engineering,* undécima edición, McGraw-Hill, Nueva York, 2006.

Perry, Robert H., Don W. Green, y James O. Maloney (eds.), *Perry's Chemical Engineers' Handbook,* séptima edición, McGraw-Hill, Nueva York, 1997.

Sclater, Neil, y Nicholas P. Chironis, *Mechanisms and Mechanical Devices Sourcebook,* cuarta edición, McGraw-Hill, Nueva York, 2006.

Ejercicios

1. Descomponga el problema de diseñar una nueva parrilla para carnes asadas. Intente una descomposición funcional así como una basada en interacciones del usuario con el producto.

2. Genere 20 conceptos para el subproblema “evitar desgastar la punta de la cuerda” como parte de un sistema para cortar tramos de cuerda de nailon de un carrete.

3. Elabore un plan de búsqueda externa para el problema de aplicar en forma permanente números de serie a productos de plástico.

Preguntas de análisis

1. ¿Cuáles son los prospectos de soporte de computadora para actividades de generación de conceptos? ¿Puede el lector considerar cualesquiera herramientas de cómputo que serían especialmente útiles en este proceso?

2. ¿Cuáles serían las ventajas y desventajas relativas de involucrar clientes reales en el proceso de generación de conceptos?

3. ¿Para qué tipos de productos sería que el enfoque inicial de la actividad de generación de conceptos se centrara en la forma e interfase del usuario del producto y no en la tecnología central? Describa ejemplos específicos.
4. ¿Podría el lector aplicar el método de cinco pasos a un problema diario como es escoger el menú para un día de campo?
5. Considere el trabajo de generar nuevos conceptos para el problema que trata de hojas de un prado. ¿Cómo diferirían las suposiciones de un fabricante de bolsas de plástico y el problema de descomposición, con respecto a las suposiciones de un fabricante de herramientas y equipo de jardinería y de las de una empresa responsable de mantener campos de golf en todo el mundo? ¿El contexto de la empresa debería dictar la forma de resolver la generación de conceptos?

CAPÍTULO OCHO

Selección del concepto



Cortesía de Novo Nordisk Pharmaceuticals, Inc.

FIGURA 8-1 Una de las jeringas existentes para pacientes no hospitalizados.

Una compañía proveedora de artículos médicos contrató los servicios de una empresa de diseño de productos, para desarrollar una jeringa reutilizable equipada con un preciso control de dosis para uso de pacientes no hospitalizados. Uno de los productos vendidos por un competidor se muestra en la figura 8-1. Para enfocar el trabajo de desarrollo, la empresa proveedora de artículos médicos identificó dos problemas principales con su producto actual: costo (el modelo existente era de acero inoxidable) y precisión en la medición de la dosis (figura 8-2). La empresa también pidió que el producto se adaptara a la capacidad física de ancianos, una parte importante del mercado objetivo. Para resumir las necesidades de su cliente y de los usuarios finales proyectados, el equipo estableció siete criterios sobre los que se basaría la selección de un concepto de producto:

- Facilidad de manejo.
- Facilidad de uso.
- Facilidad de lectura de ajustes de dosis.
- Precisión en la medición de dosis.
- Durabilidad.
- Facilidad de manufactura.
- Portabilidad.

El equipo describió los conceptos bajo consideración con los bosquejos que se ven en la figura 8-3. Aun cuando cada uno de los conceptos satisfizo nominalmente las necesidades clave del cliente, el equipo tuvo que seleccionar el mejor de todos para su posterior diseño, refinamiento y producción. En torno a la necesidad de preferir un concepto de jeringa, de entre muchos, surgen varias preguntas:

- ¿Cómo puede el equipo seleccionar el mejor concepto si los diseños aún son bastante abstractos?
- ¿Cómo puede tomarse una decisión que sea aceptada por todo el equipo?
- ¿Cómo pueden identificarse y usarse atributos deseables de conceptos que de otra forma serían débiles?
- ¿Cómo puede documentarse el proceso de toma de decisiones?

Este capítulo utiliza el ejemplo de la jeringa para presentar una metodología de selección de conceptos que aborda éste y otros problemas.

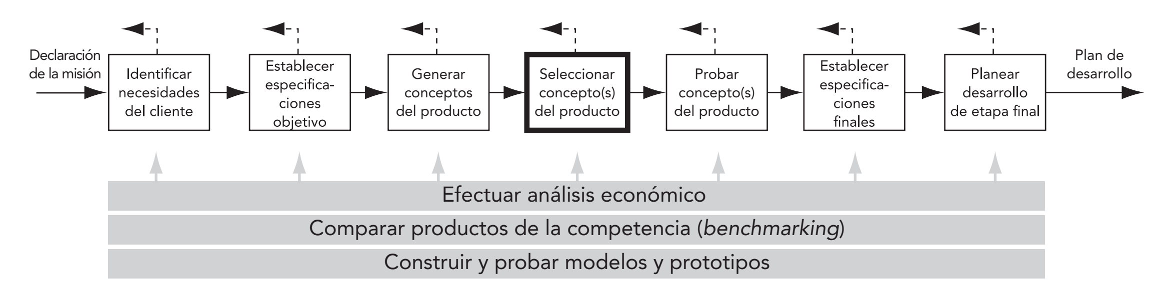


FIGURA 8-2 La selección de un concepto es parte de la fase general del desarrollo de un concepto.

La selección del concepto es parte integral del proceso de desarrollo del producto

En las primeras etapas del proceso de desarrollo, el equipo de desarrollo del producto identifica un conjunto de necesidades del cliente. Con el uso de varios métodos, el equipo genera entonces conceptos de solución alternativos en respuesta a estas necesidades. (Vea el capítulo 5, Identificación de las necesidades del cliente, y el capítulo 7, Generación de concepto, para más detalles sobre estas actividades.) La *selección del concepto* es el proceso para evaluar conceptos con respecto a las necesidades del cliente y otros criterios, comparando los puntos relativamente fuertes y débiles de los conceptos, y seleccionando uno o más de éstos para su posterior investigación, prueba o desarrollo. La figura 8-2 ilustra cómo está relacionada la actividad de selección del concepto con las otras actividades que conforman la fase de desarrollo del concepto del proceso de desarrollo del producto. Aun cuando este capítulo se concentra en la selección de un concepto general del producto al principio del proceso de desarrollo, el método que presentamos también es útil más adelante en el proceso de desarrollo, cuando el equipo deba seleccionar conceptos de subsistema, componentes y procesos de producción.

Si bien muchas etapas del proceso de desarrollo se benefician de una creatividad sin límites y modos de pensar divergentes, la selección de un concepto es un proceso convergente, frecuentemente iterativo y quizá no produzca de inmediato un concepto dominante. Al principio se escoge un conjunto grande de conceptos hasta llegar a un conjunto más pequeño, pero estos conceptos pueden combinarse y mejorarse más adelante para agrandar en forma temporal el conjunto de conceptos bajo consideración. Por medio de varias iteraciones, finalmente se escoge un concepto dominante. La figura 8-4 ilustra la sucesiva reducción y ampliación temporal del conjunto de opciones que se consideran durante la actividad de selección del concepto.

Todos los equipos usan algún método para escoger un concepto

Independientemente de si el proceso de selección del concepto es explícito o no, todos los equipos usan algún método para escoger entre conceptos. (Incluso los equipos que generan sólo un concepto están usando un método: escoger el primer concepto en el que piensen.) Los métodos varían en su efectividad e incluyen lo siguiente:

- ***Decisión externa:*** Los conceptos se turnan al comprador, cliente o alguna otra entidad externa para su selección.
- ***Campeón del producto:*** Un miembro influyente del equipo de desarrollo del producto escoge un concepto basado en su preferencia personal.
- ***Intuición:*** Se escoge el concepto que se percibe como mejor. Los criterios explícitos o concesiones no se usan. El concepto simplemente *parece* mejor.
- ***Votación múltiple:*** Cada uno de los miembros del equipo vota por varios conceptos. Se elige el concepto con más votos.
- ***Encuesta en internet:*** Con una herramienta para encuestas por internet mucha gente clasifica cada concepto para encontrar los mejores.
- ***Pros y contras:*** El equipo hace una lista de los puntos fuertes y débiles de cada concepto y hace la selección con base en la opinión del equipo.

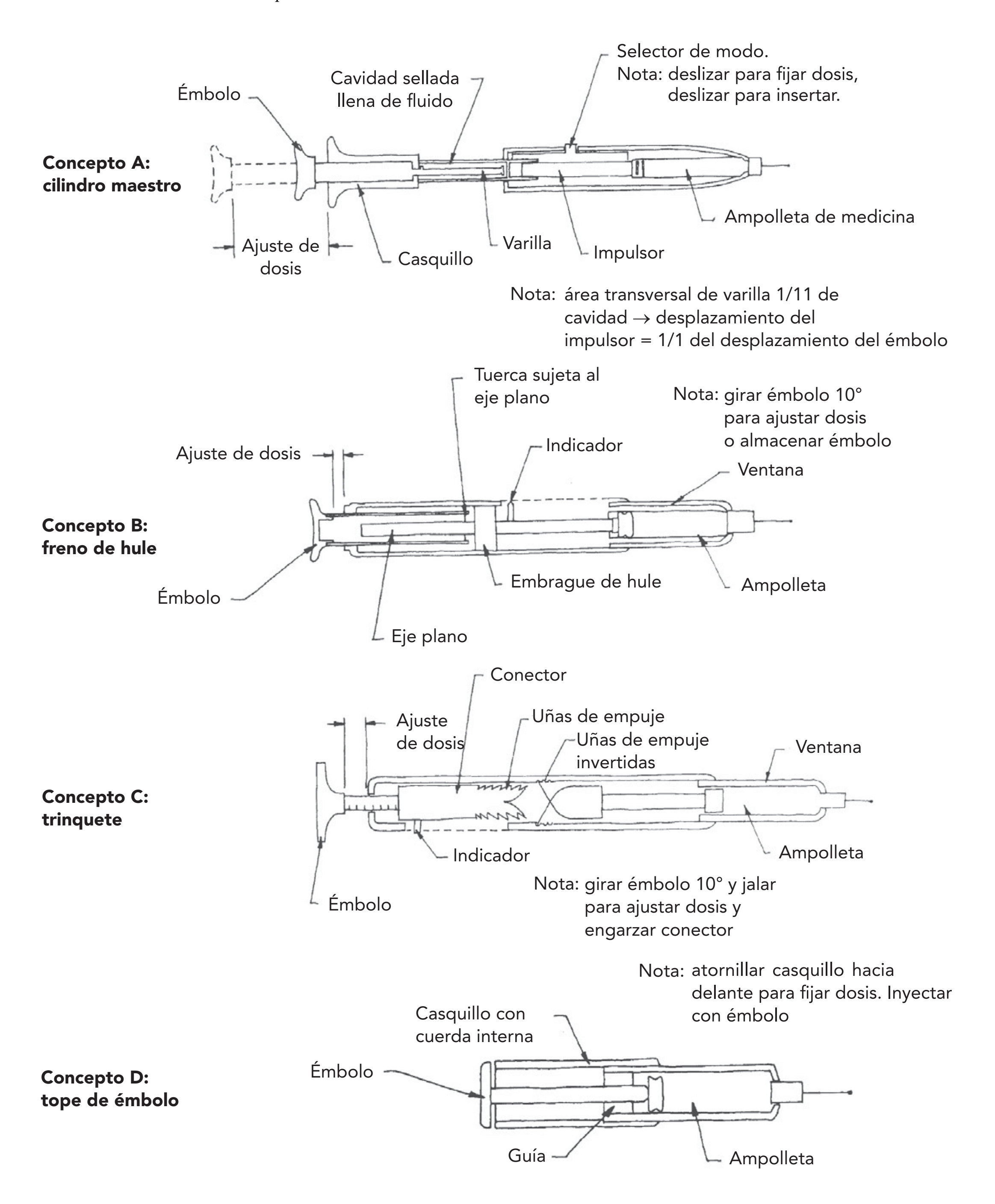


FIGURA 8-3 Siete conceptos de jeringa para pacientes no hospitalizados. El equipo de desarrollo del producto generó los siete bosquejos para describir los conceptos básicos considerados.

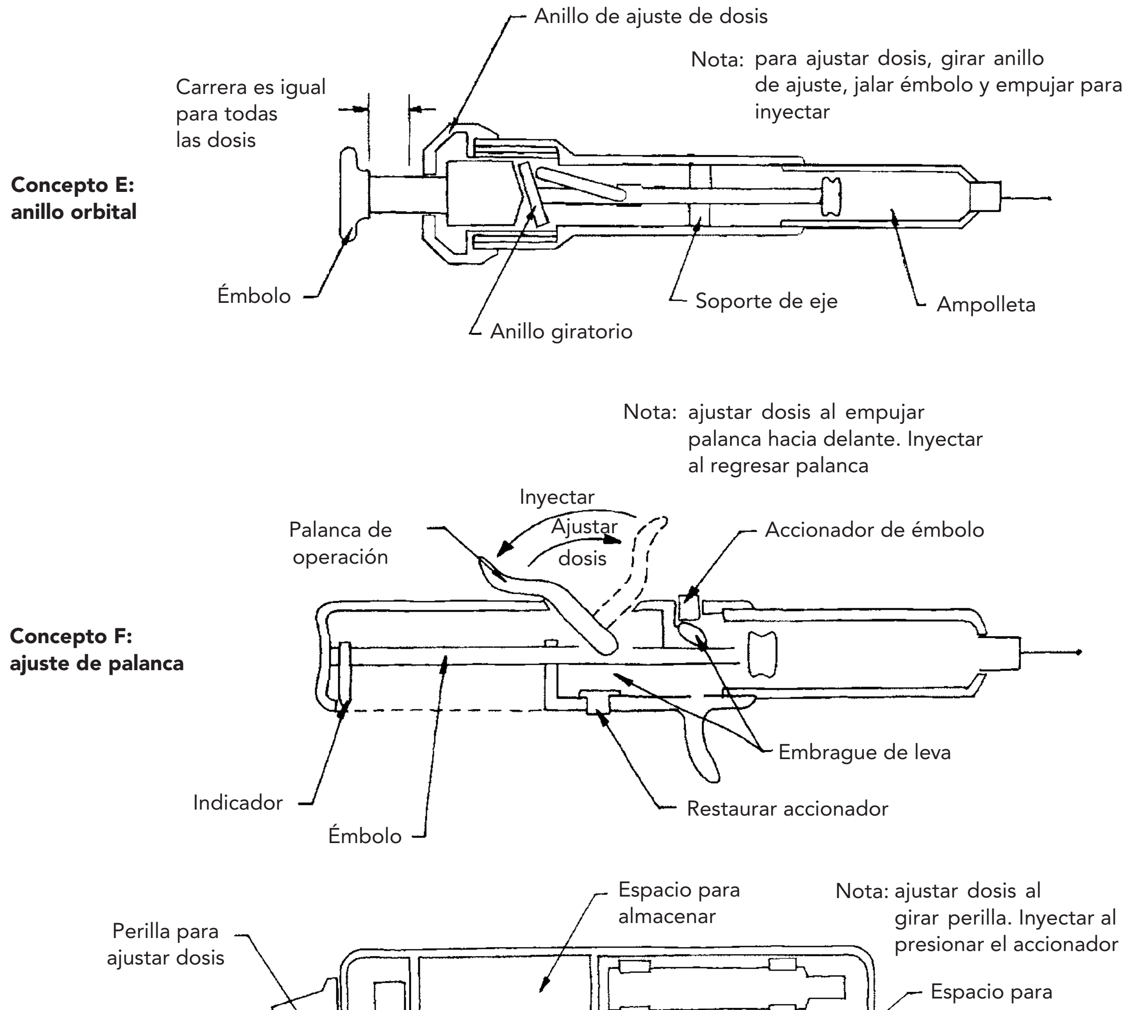


FIGURA 8-3 *Continuación*

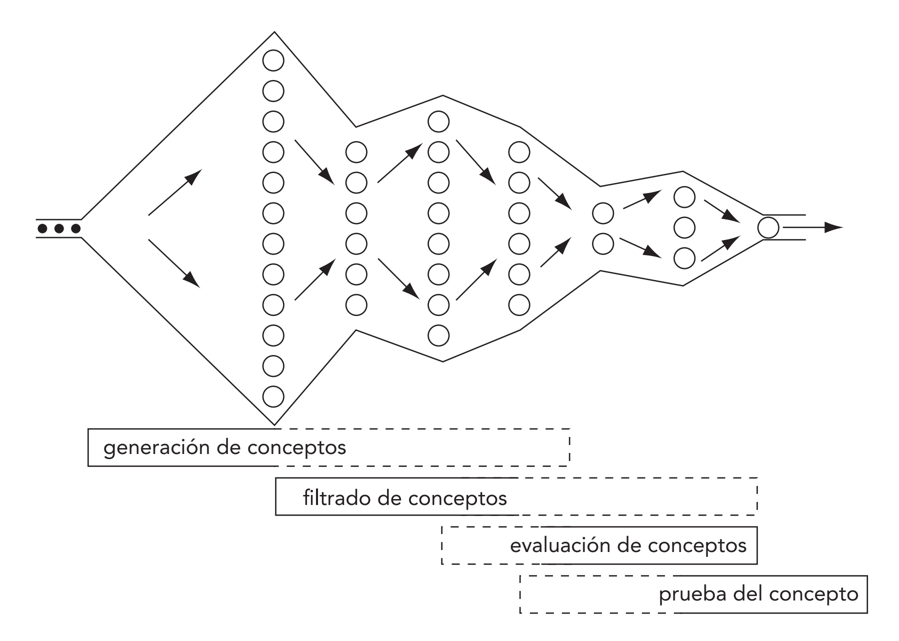


FIGURA 8-4 La selección del concepto es un proceso iterativo estrechamente relacionado con la generación y prueba del concepto. Los métodos de filtrado y evaluación del concepto ayudan a refinar y mejorar los conceptos, llevando a uno o más conceptos promisorios en los que se enfocarán más actividades de prueba y desarrollo.

- ***Prototipo y prueba:*** La organización construye y prueba prototipos de cada concepto, haciendo una selección con base en los datos de las pruebas.
- ***Matrices de decisión:*** El equipo califica cada concepto contra criterios de selección especificados de antemano, los cuales pueden ser ponderados.

El método de selección del concepto de este capítulo se construye alrededor del uso de matrices de decisión para evaluar cada concepto con respecto a un conjunto de criterios de selección.

Un método estructurado ofrece varios beneficios

Todas las actividades del proceso frontal de desarrollo del producto tienen enorme influencia en un eventual éxito del producto. Es cierto que la respuesta del mercado al producto depende de manera crítica del concepto del producto, pero muchos expertos e investigadores también piensan que la selección del concepto de un producto determina en forma impresionante el costo final de manufactura del producto. Un proceso estructurado de selección del concepto ayuda a mantener la objetividad del concepto en toda la fase del proceso de desarrollo y guía al equipo de desarrollo del producto en un proceso crítico, difícil y a veces emocional. Específicamente, un método estructurado de selección del concepto ofrece los siguientes beneficios potenciales:

- ***Un producto enfocado al cliente:*** Debido a que los conceptos son explícitamente evaluados contra criterios orientados al cliente, lo más seguro es que el concepto seleccionado sea enfocado al cliente.

- ***Un diseño competitivo:*** Al comparar (*benchmark*) conceptos con respecto a diseños existentes, los diseñadores manejan el diseño para igualar o rebasar el rendimiento del producto de sus competidores en dimensiones clave.
- ***Mejor coordinación del proceso de un producto:*** Una evaluación explícita del producto, con respecto a criterios de manufactura, mejora la fabricación del producto y ayuda a igualarlo con las capacidades de proceso de la empresa.
- ***Tiempo reducido para la introducción del producto:*** Un método estructurado se convierte en lenguaje común entre ingenieros de diseño, ingenieros de manufactura, diseñadores industriales, comerciantes y gerentes de proyecto, resultando en menor ambigüedad, comunicación más rápida y menos salidas en falso.
- ***Efectiva toma de decisiones grupal:*** Dentro del equipo de desarrollo, la filosofía y directrices de la organización, la disposición de los miembros a participar y la experiencia de los miembros del equipo pueden limitar el proceso de selección del concepto. Un método estructurado estimula la toma de decisiones con base en criterios objetivos y reduce al mínimo la probabilidad de que factores arbitrarios o personales influyan en el concepto del producto.
- ***Documentación del proceso de decisión:*** Un método estructurado resulta en un archivo fácilmente entendible de la razón fundamental que hay detrás de las decisiones del concepto. Este registro es útil en la asimilación de nuevos miembros del equipo y para evaluar rápidamente el impacto de cambios en las necesidades del cliente o en alternativas disponibles.

Perspectiva general de la metodología

Presentamos una metodología de dos etapas para selección del concepto, aun cuando la primera puede ser suficiente para decisiones de diseño sencillas. La primera etapa se denomina *filtrado de conceptos* y la segunda, *evaluación de conceptos.* Cada una se apoya en una matriz de decisiones que utiliza el equipo para filtrar, ordenar y seleccionar los mejores conceptos. Aun cuando el método está estructurado, destacamos la importancia de los conocimientos del equipo para mejorar y combinar conceptos.

La selección del concepto se realiza a veces en dos etapas como vía para poder manejar la complejidad de evaluar docenas de conceptos del producto. La aplicación de estos dos métodos se ilustra en la figura 8-4. El filtrado es una evaluación rápida y aproximada destinada a producir algunas alternativas viables. La evaluación es un análisis más cuidadoso de estos relativamente pocos conceptos con el propósito de escoger el concepto individual que tenga más probabilidad de llevar el producto al éxito.

Durante el filtrado de conceptos, los conceptos iniciales, burdos, son evaluados con respecto a un concepto de referencia común usando la *matriz de filtrado.* En esta etapa preliminar, las comparaciones cuantitativas detalladas son difíciles de obtener y pueden ser confusas, de modo que se emplea un sistema de evaluación comparativa burda. Después de eliminar algunas alternativas, el equipo puede continuar la evaluación de conceptos y realizar análisis más detallados y evaluación cuantitativa más fina de los conceptos restantes usando la *matriz de evaluación* como guía. En todo el proceso de filtrado y evaluación pueden efectuarse varias iteraciones, con nuevas alternativas que surgen de la combinación de las características de varios conceptos. Las figuras 8-5 y 8-7 ilustran las matrices de filtrado y evaluación que emplean los criterios de selección y conceptos del ejemplo de la jeringa.

	Conceptos						
Criterios de selección	**A Cilindro maestro**	**B Freno de hule**	**C Trinquete**	**D (Referencia) Tope de émbolo**	**E Anillo orbital**	**F Ajuste de palanca**	**G Tornillo del selector**
Facilidad de manejo	0	0	–	0	0	–	–
Facilidad de uso	0	–	–	0	0	+	0
Facilidad de lectura de ajustes de dosis	0	0	+	0	+	0	+
Precisión en medición de dosis	0	0	0	0	–	0	0
Durabilidad	0	0	0	0	0	+	0
Facilidad de manufactura	+	–	–	0	0	–	0
Portabilidad	+	+	0	0	+	0	0
Suma +	2	1	1	0	2	2	1
Suma 0	5	4	3	7	4	3	5
Suma –	0	2	3	0	1	2	1
Evaluación neta	2	–1	–2	0	1	0	0
Lugar 1	6	7	3	2	3	3	
¿Continuar?	Sí	No	No	Combinar	Sí	Combinar	Revisar

FIGURA 8-5 Matriz de selección de conceptos. Para el ejemplo de la jeringa, el grupo evaluó los conceptos contra el concepto de referencia usando un solo código (+ "mejor que", 0 "igual a", – "peor que") para identificar algunos conceptos para su posterior consideración. Nótese que los tres conceptos evaluados "3" recibieron la misma calificación neta.

Ambas etapas, filtrado de conceptos y evaluación de conceptos, siguen un proceso de seis pasos que llevan al equipo por la actividad de selección del concepto. Los pasos son:

1. Elaborar la matriz de selección.
2. Evaluar los conceptos.
3. Ordenar los conceptos.
4. Combinar y mejorar los conceptos.
5. Seleccionar uno o más conceptos.
6. Reflexionar sobre los resultados y el proceso.

Aun cuando presentamos un proceso bien definido, el equipo, no el método, crea los conceptos y toma las decisiones que determinan la calidad del producto. Idealmente, los equipos están formados por personas de diferentes grupos funcionales dentro de la organización. Cada uno de los miembros tiene puntos de vista únicos que aumentan el entendimiento del problema y por lo tanto facilitan el desarrollo de un producto exitoso y orientado al cliente. El método de selección del concepto utiliza las matrices como guías visuales para construir consenso entre miembros del equipo. Las matrices concentran su atención en las necesidades del cliente y otros criterios de decisión y en los conceptos del producto para evaluación, mejora y selección explícitas.

Filtrado de conceptos

El filtrado de conceptos se basa en un método desarrollado por el desaparecido Stuart Pugh en la década de 1980, que a veces también se le llama *matriz de selección de conceptos de Pugh* (Pugh, 1990). Los fines de esta etapa son reducir rápidamente el número de conceptos y mejorarlos. La figura 8-5 ilustra la matriz de filtrado empleada durante esta etapa.

Paso 1: Elaborar la matriz de selección

Para elaborar la matriz, el equipo selecciona un medio físico apropiado para el problema que se está tratando. Individuos y pequeños grupos con una corta lista de criterios pueden usar matrices en papel semejante a la figura 8-5 o al apéndice A para su proceso de selección. Con grupos más grandes es preferible usar un pizarrón o rotafolio para facilitar la discusión en grupo.

A continuación, las entradas (conceptos y criterios) se introducen en la matriz. Aun cuando sean posiblemente generados por personas diferentes, los conceptos deben presentarse al mismo nivel de detalle para su comparación significativa y selección no sesgada. Los conceptos se presentan mejor por medio de una descripción escrita y una representación gráfica. Un bosquejo sencillo de una sola página de cada concepto facilita en gran medida la comunicación de las características clave del concepto. Los conceptos se introducen a lo largo de la parte superior de la matriz, usando leyendas gráficas o de texto de alguna clase.

Si el equipo está considerando más de 12 conceptos, la técnica de *multivotos* (*votación múltiple*) puede usarse para escoger con rapidez una docena o algo así de conceptos a evaluar con la matriz de selección de concepto. La de votación múltiple es una técnica en la que los miembros del grupo votan al mismo tiempo por tres a cinco conceptos al aplicar "puntos" a las hojas que describen sus conceptos preferidos. En el capítulo 3, Identificación de oportunidades, se describe la votación múltiple aplicada a una amplia variedad de oportunidades de producto. Los conceptos con más puntos se escogen para filtrar conceptos. También es posible usar el método de matriz de filtrado con un número grande de conceptos. Esto se facilita mediante una hoja de cálculo y luego es útil para trasponer las filas y columnas. (En este caso acomode los conceptos en la columna izquierda y los criterios en la parte superior.)

Los criterios de selección aparecen en lista en el lado izquierdo de la matriz de filtrado, como se ve en la figura 8-5. Estos criterios se seleccionan con base en las necesidades del cliente que el equipo ha identificado, así como en las necesidades de la empresa, por ejemplo bajo costo de manufactura o mínimo riesgo de responsabilidad. Los criterios en esta etapa suelen expresarse a un nivel de abstracción más bien alto y por lo general incluyen de cinco a 10 dimensiones. Los criterios de selección deben escogerse para distinguir entre los conceptos. No obstante, debido a que cada criterio recibe igual valor en el método de filtrado de conceptos, el equipo debe tener cuidado de no poner en lista muchos criterios que no sean relativamente importantes en la matriz de filtrado. De otro modo, las diferencias entre los conceptos con respecto a los criterios más importantes no se reflejarán con claridad en el resultado.

Después de una cuidadosa consideración, el equipo escoge un *concepto de referencia* o comparación (*benchmark*), contra el cual se evalúan todos los otros conceptos. La referencia es generalmente un estándar industrial o un concepto sencillo con el que los miembros del equipo están bien familiarizados. Puede ser un producto disponible comercialmente, el mejor producto en su clase que el equipo ha estudiado, una generación anterior del producto, cualquiera de los conceptos bajo consideración, o una combinación de subsistemas ensamblado para representar las mejores características de diferentes productos.

Paso 2: Evaluar los conceptos

Una evaluación relativa de "mejor que" (+), "igual a" (0), o "peor que" (–) se pone en cada celda de la matriz para representar cómo se evalúa cada concepto en comparación con el concepto de referencia relativo al criterio particular. Generalmente es aconsejable evaluar cada concepto en un criterio antes de pasar al siguiente criterio. No obstante, con un número grande

de conceptos es más rápido usar el método opuesto, es decir, evaluar por completo cada concepto antes de pasar al siguiente concepto.

Algunos encuentran muy difícil trabajar con la naturaleza burda de las evaluaciones relativas pero, en esta etapa del proceso de diseño, cada concepto es sólo una noción general del producto final y las evaluaciones más detalladas carecen de sentido. De hecho, dada la imprecisión de las descripciones de concepto en este punto, es muy difícil comparar de manera consistente un concepto con otro a menos que uno de éstos (la referencia) se utilice de manera consistente como base para comparación.

Cuando las haya, se pueden usar métricas objetivo como base para evaluar un concepto. Por ejemplo, una buena aproximación de costo de ensamble es el número de piezas en un diseño. Del mismo modo, una buena aproximación de facilidad de uso es el número de operaciones necesarias para usar el equipo. Esas métricas ayudan a minimizar la naturaleza subjetiva del proceso de evaluación. Algunas métricas objetivo apropiadas para la selección del concepto pueden resultar del proceso de establecer especificaciones objetivo para el producto. (Vea el capítulo 6, Especificaciones del producto, para un análisis de métricas.) Cuando no haya métricas objetivo, las evaluaciones son establecidas por consenso del equipo, aun cuando el voto secreto u otros métodos también pueden ser útiles. En este punto, el equipo también puede observar cuáles criterios de selección necesitan más investigación y análisis.

Paso 3: Ordenar los conceptos

Después de evaluar todos los conceptos, el equipo suma el número de evaluaciones “mejor que”, “igual a” y “peor que” e introduce la suma de cada categoría en las filas inferiores de la matriz. De nuestro ejemplo de la figura 8-5, el concepto A fue evaluado para tener dos criterios “mejor que”, cinco “igual a” y ninguno de “peor que”, el concepto de referencia. A continuación se puede calcular una evaluación neta al restar el número de las “peor que” de las “mejor que”.

Una vez hecha la suma, el equipo ordena los conceptos. Obviamente, en general, los conceptos con más signos “+” que signos “–” se clasifican más alto; es frecuente que, en este punto, el equipo pueda identificar uno o dos criterios que realmente parezcan diferenciar los conceptos.

Paso 4: Combinar y mejorar los conceptos

Habiendo evaluado y ordenado los conceptos, el equipo debe verificar que los resultados sean lógicos y luego considerar si hay formas de combinar y mejorar ciertos conceptos. Dos problemas a considerar son:

- ¿Un concepto generalmente bueno puede ser degradado por una mala característica? ¿Una modificación de menor importancia puede mejorar el concepto general y aun así preservar una distinción respecto a los otros conceptos?
- ¿Hay dos conceptos que se puedan combinar para preservar las cualidades “mejor que” mientras anulan las “peor que”?

Los conceptos combinados y mejorados se suman entonces a la matriz, evaluados por el equipo y ordenados junto con los conceptos originales. En nuestro ejemplo, el equipo observó que los conceptos D y F podrían combinarse para eliminar varias de las evaluaciones “peor que” y obtener un nuevo concepto, DF, a ser considerado en la siguiente ronda. El concepto G también se consideró para revisión. El equipo decidió que este concepto era demasiado volu-

minoso, de modo que el exceso de espacio de almacenamiento se eliminó mientras que se retuvo la técnica de inyección. Estos conceptos revisados se muestran en la figura 8-6.

Paso 5: Seleccionar uno o más conceptos

Una vez que los miembros del equipo estén satisfechos con su comprensión de cada concepto y su calidad relativa, deciden cuáles conceptos han de seleccionarse para más refinamiento y análisis. Con base en pasos previos, es probable que el equipo desarrolle un claro sentido de cuáles son los conceptos más promisorios. El número de conceptos seleccionado para mayor revisión estará limitado por recursos del equipo (personal, dinero y tiempo). En nuestro ejemplo, el equipo seleccionó los conceptos A y E a ser considerados junto con el concepto revisado G+ y el nuevo concepto DF. Habiendo determinado los conceptos para más análisis, el equipo debe aclarar cuáles problemas necesitan más investigación antes de que se pueda hacer una selección final.

El equipo debe decidir también si se efectuará otra ronda de filtrado de conceptos o si la evaluación de conceptos se aplicará a continuación. Si la matriz de filtrado no provee sufi-

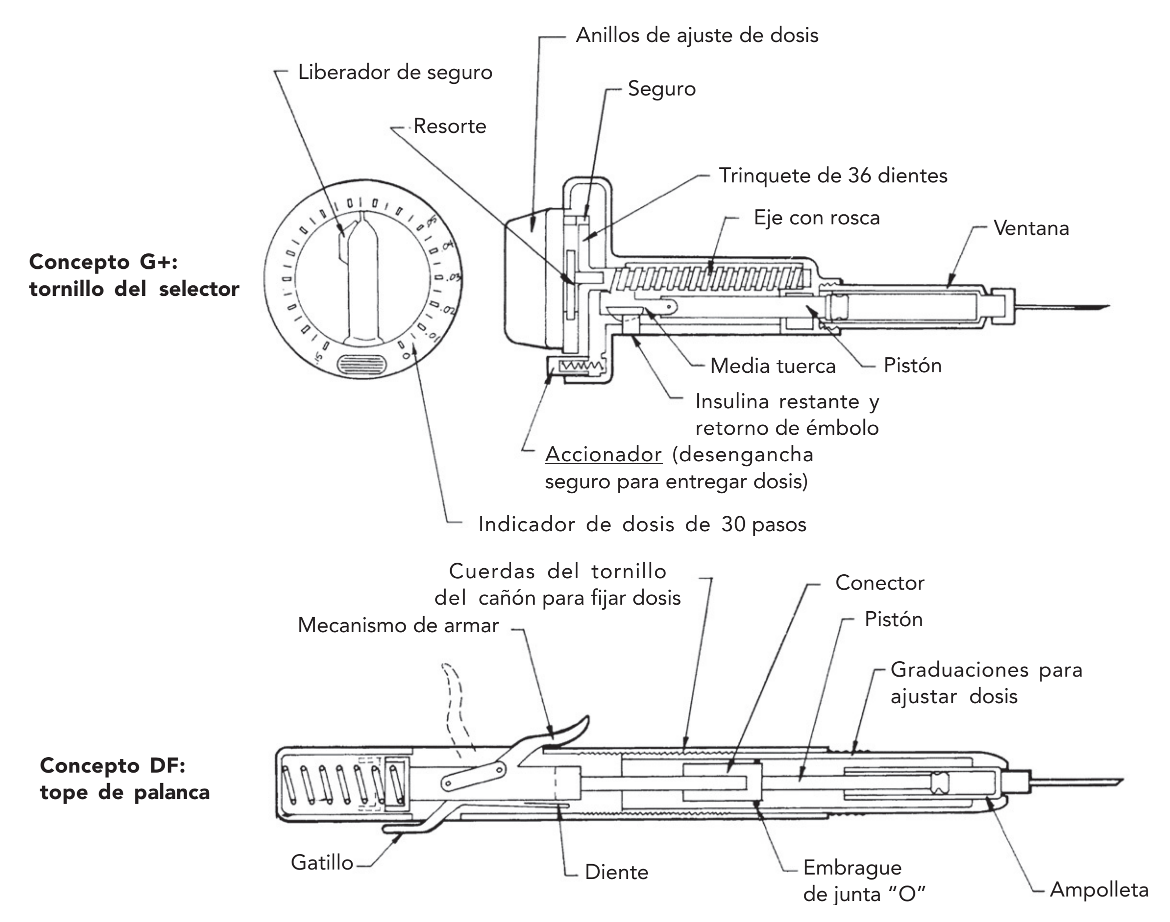


FIGURA 8-6 Conceptos nuevos y revisados para la jeringa. Durante el proceso de selección, el equipo de la jeringa revisó el concepto G y generó un nuevo concepto, el DF, que surge de la combinación de los conceptos D y F.

ciente resolución para el siguiente paso de evaluación y selección, entonces se usaría la etapa de evaluación de conceptos con sus criterios de selección ponderada y esquema más detallado de evaluación.

Paso 6: Reflexionar sobre los resultados y el proceso

Todos los miembros del equipo deben sentirse cómodos con el resultado. Si alguien no está de acuerdo con la decisión del equipo, entonces quizá uno o más criterios importantes están faltando en la matriz de filtrado, o tal vez hay un error en una evaluación particular o cuando menos no está claro. Considerar en forma explícita si los resultados tienen sentido para todos reduce la probabilidad de caer en un error; también aumenta la probabilidad de que todo el equipo se comprometa sólidamente en subsiguientes actividades de desarrollo.

Evaluación de conceptos

La evaluación de conceptos se usa cuando una mayor resolución va a lograr una mejor diferencia entre conceptos que compiten. En esta etapa, el equipo pondera la importancia relativa de los criterios de selección y se enfoca en comparaciones más refinadas con respecto a cada criterio. Las evaluaciones del concepto están determinadas por la suma ponderada de las calificaciones. La figura 8-7 ilustra la matriz de evaluación empleada en esta etapa. Al describir el proceso de evaluación de conceptos, nos concentramos en las diferencias con respecto al filtrado de conceptos.

Paso 1: Elaborar la matriz de selección

Al igual que en la etapa de filtrado, el equipo elabora una matriz e identifica un concepto de referencia. Casi siempre, una hoja de cálculo es el mejor formato para facilitar la calificación y análisis de sensibilidad. Los conceptos que hayan sido identificados para análisis se introducen

		Concepto							
		A (Referencia) Cilindro maestro		DF Tope de palanca		E Anillo amortiguador		G+ Tornillo del selector+	
Criterios de selección	Peso	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
Facilidad de manejo	5%	**3**	0.15	3	0.15	4	0.2	4	0.2
Facilidad de uso	15%	**3**	0.45	4	0.6	4	0.6	3	0.45
Facilidad de lectura de ajustes de dosis	10%	2	0.2	**3**	0.3	5	0.5	5	0.5
Precisión en medición de dosis	25%	**3**	0.75	3	0.75	2	0.5	3	0.75
Durabilidad	15%	2	0.3	5	0.75	4	0.6	**3**	0.45
Facilidad de manufactura	20%	**3**	0.6	3	0.6	2	0.4	2	0.4
Portabilidad	10%	**3**	0.3	3	0.3	3	0.3	3	0.3
	Total puntos		2.75	3.45	3.10		3.05		
	Lugar		4	1	2		3		
	¿Continuar?		No	Desarrollar		No		No	

FIGURA 8-7 Matriz de evaluación de conceptos. Este método utiliza una suma ponderada de las evaluaciones para determinar la evaluación de conceptos. El concepto A sirve como concepto general de referencia, los puntos de referencia separados para cada criterio de valores de evaluación están en negritas.

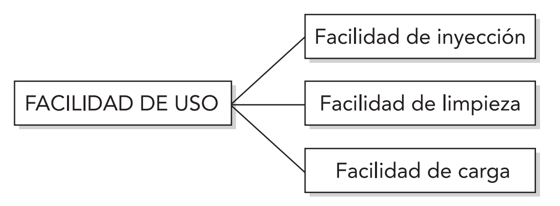


FIGURA 8-8 Descomposición jerárquica de criterios de selección. En coordinación con conceptos más detallados, el equipo puede optar por descomponer criterios al nivel de detalle necesarios para comparaciones significativas.

en la parte superior de la matriz. Los conceptos han sido refinados hasta cierto punto desde el filtrado del concepto y se pueden expresar con mayor detalle. En coordinación con conceptos más detallados, el equipo puede agregar más detalles a los criterios de selección. El uso de relaciones jerárquicas es una forma útil de resaltar los criterios. Para el ejemplo de la jeringa, suponga que el equipo decidió que el criterio "facilidad de manejo" no dio suficiente detalle para ayudar a distinguir entre los conceptos restantes. "Facilidad de uso" podría descomponerse, como se ve en la figura 8-8, en "facilidad de inyección", "facilidad de limpieza" y "facilidad de carga". El nivel de detalles de criterios dependerá de las necesidades del equipo; puede no ser necesario expandir el criterio en absoluto. Si el equipo ha creado una lista jerárquica de necesidades del cliente, las necesidades secundarias y terciarias son buenas candidatas para criterios de selección más detallados. (Vea capítulo 5, Identificación de las necesidades del cliente, para una explicación de necesidades primarias, secundarias y terciarias, y los apéndices A y B para ejemplos de criterios de selección jerárquica.)

Después de introducir los criterios, el equipo agrega valores de importancia a la matriz. Se pueden usar varios esquemas para ponderar los criterios, por ejemplo asignar un valor de importancia de 1 a 5, o asignar 100 puntos porcentuales entre ellos, como el equipo lo ha hecho en la figura 8-7. Hay técnicas de mercadotecnia para determinar valores de manera empírica a partir de datos del cliente y un proceso completo de identificar las necesidades del cliente puede resultar en esos valores (Urban y Hauser, 1993). No obstante, para el propósito de la selección del concepto, los valores a veces son determinados subjetivamente por consenso del equipo.

Paso 2: Evaluar los conceptos

Al igual que en la etapa de filtrado, generalmente es más fácil para el equipo enfocar su discusión al evaluar todos los conceptos con respecto a un criterio a la vez. Debido a la necesidad de resolución adicional para distinguir entre conceptos que compiten, ahora se usa una escala más fina. Recomendamos una escala de 1 a 5:

Desempeño relativo	Calificación
Mucho peor que la referencia	1
Peor que la referencia	2
Igual que la referencia	3
Mejor que la referencia	4
Mucho mejor que la referencia	5

Es cierto que puede usarse otra escala, como la de 1 a 9, pero las escalas más finas generalmente requieren de más tiempo y trabajo.

Un único concepto de referencia se puede usar para calificaciones comparativas, como en la etapa de filtrado; pero esto no siempre es apropiado. A menos que por pura coincidencia el concepto de referencia sea de rendimiento promedio con respecto a todos los criterios, el uso del mismo concepto de referencia para la evaluación de cada criterio llevará a una "compresión de escala" para algunos de los criterios. Por ejemplo, si resulta que el concepto de refe-

rencia es el concepto más fácil para manufactura, todos los conceptos restantes recibirán una evaluación de 1, 2 o 3 (“mucho peor que”, “peor que” o “igual a”) para el criterio de facilidad de manufactura, comprimiendo la escala de calificación de cinco a tres niveles.

Para evitar la compresión de escala, recomendamos usar diferentes puntos de referencia para los diversos criterios de selección. Los puntos de referencia pueden provenir de varios de los conceptos bajo consideración, de análisis comparativo (*benchmarking*), de valor objetivo de las especificaciones del producto o de otros medios. Es importante que el punto de referencia para cada criterio sea bien entendido para facilitar comparaciones directas “uno a uno”. El uso de puntos múltiples de referencia no impide que el equipo designe un concepto como referencia general para los propósitos de asegurar que el concepto seleccionado sea competitivo con respecto a este *benchmark*. Bajo estas condiciones, el concepto general de referencia simplemente no recibirá una evaluación neutral.

La figura 8-7 muestra la matriz de evaluación para el ejemplo de la jeringa. El equipo pensó que el concepto del cilindro maestro no era apropiado como punto de referencia para dos de los criterios y otros conceptos se usaron como puntos de referencia en estos casos.

El apéndice B ilustra una matriz más detallada de evaluación para la que el equipo calificó los conceptos de cada criterio sin puntos de referencia explícitos. Estas calificaciones se lograron al discutir los méritos de cada concepto con respecto a un criterio a la vez y acomodando las evaluaciones en una escala de nueve puntos.

Paso 3: Ordenar los conceptos

Una vez que las evaluaciones se introducen para cada concepto, las evaluaciones ponderadas se calculan al multiplicar las evaluaciones sin procesar por los valores de criterios. La evaluación total para cada concepto es la suma de las evaluaciones ponderadas:

$$S_j = \sum_{i=1}^{n} r_{ij} w_i$$

donde

r_{ij} = evaluación de fila del concepto j para el i-ésimo criterio
w_i = ponderación del i-ésimo criterio
n = número de criterios
S_j = evaluación total para el concepto j

Por último, cada concepto recibe una evaluación correspondiente a su evaluación total, como se ve en la figura 8-7.

Paso 4: Combinar y mejorar los conceptos

Al igual que en la etapa de filtrado, el equipo busca cambios o combinaciones que mejoren los conceptos. Aun cuando el proceso formal de generación de conceptos típicamente se completa antes de que se inicie la selección del concepto, algunos de los refinamientos y mejoras más creativos ocurren durante el proceso de selección del concepto, cuando el equipo se da cuenta de los puntos fuertes y débiles inherentes de ciertas características de los conceptos del producto.

Paso 5: Seleccionar uno o más conceptos

La selección final no es simplemente una cuestión de escoger el concepto que logre la evaluación más alta después del primer paso del proceso. Más bien, el equipo debe explorar esta

evaluación inicial al realizar un análisis de sensibilidad. Con el uso de una hoja de cálculo de computadora, el equipo puede variar valores y evaluaciones para determinar su efecto en la evaluación.

Al investigar la sensibilidad de la evaluación a variaciones en una calificación particular, los miembros del equipo pueden evaluar si la incertidumbre acerca de una calificación particular tiene un impacto grande en la elección. En algunos casos pueden seleccionar un concepto de evaluación más baja alrededor del cual hay poca incertidumbre, en lugar de un concepto de evaluación más alta que posiblemente pueda resultar que no funciona o que sea menos deseable cuando sepan más de él.

Con base en la matriz de selección, el equipo puede decidir seleccionar los dos primeros o incluso más conceptos. Estos conceptos pueden ser efecto de más desarrollo, construirse más prototipos y ser probados para obtener retroalimentación del cliente. Vea en el capítulo 9, Prueba de concepto, un análisis de los métodos para evaluar las respuestas del cliente a conceptos del producto.

El equipo puede también crear dos o más matrices de evaluación con valores distintos para obtener la calificación del concepto para varios segmentos del mercado con diferentes preferencias del cliente. Puede ser que un concepto sea dominante para varios segmentos. El equipo también debe considerar con todo cuidado la importancia de las diferencias en evaluaciones del concepto. Dada la resolución del sistema de evaluación, las pequeñas diferencias por lo general no son de importancia.

Para el ejemplo de la jeringa, el equipo acordó que el concepto DF era el más promisorio y probablemente resultaría en un producto exitoso.

Paso 6: Reflexionar sobre los resultados y el proceso

Como paso final, el equipo reflexiona sobre el concepto(s) seleccionado(s) y el proceso de selección del concepto. En ocasiones, éste es el "punto sin retorno" para el proceso de desarrollo del concepto, de modo que todos en el equipo deben sentirse cómodos de que todos los problemas relevantes se hayan analizado y que el concepto(s) seleccionado(s) tiene(n) el potencial más grande para satisfacer a los clientes y ser económicamente exitoso.

Después de cada etapa de la selección del concepto es de gran utilidad que el equipo revise cada uno de los conceptos que han de eliminarse para una consideración posterior. Si el equipo conviene en que cualquiera de los conceptos cancelados es mejor en términos generales que algunos de los retenidos, entonces la fuente de esta inconsistencia debe identificarse. Quizá un criterio importante está faltando, no se ha valorado en forma apropiada o se aplicó de manera inconsistente.

La organización también puede beneficiarse al meditar sobre el proceso mismo. Dos preguntas son útiles para mejorar el proceso en subsiguientes actividades de la selección del concepto:

- ¿En qué forma (si la hubo) el método de selección del concepto facilitó la toma de decisión del equipo?
- ¿Cómo puede modificarse el método para mejorar el rendimiento del equipo?

Estas preguntas enfocan al equipo en los puntos fuertes y en los débiles de la metodología en relación con las necesidades y capacidades de la organización.

Advertencias

Con experiencia, los usuarios de los métodos de selección del concepto descubrirán varias sutilezas. Aquí analizamos algunas de éstas y señalamos algunos aspectos donde debe tenerse precaución.

- ***Descomposición de la calidad del concepto:*** La teoría básica que fundamenta el método de selección del concepto es que los criterios de selección y, por extensión, las necesidades del cliente, pueden evaluarse de manera independiente y que la calidad del concepto es la suma de las cualidades del concepto con respecto a cada criterio. La calidad de los conceptos de algunos productos no puede descomponerse fácilmente en un conjunto de criterios independientes ya que, de otro modo, el rendimiento del concepto con respecto a los diferentes criterios puede ser difícil de relacionar con la calidad general del concepto. Por ejemplo, el atractivo general o rendimiento del diseño de una raqueta de tenis puede resultar en una forma sumamente compleja de su peso, facilidad de movimiento, transmisión de impacto y absorción de energía. Simplemente con seleccionar un concepto basado en la suma del rendimiento con respecto a cada criterio quizá no capte complejas relaciones entre estos criterios. Keeney y Raiffa (1993) examinan el problema de la toma de decisiones con múltiples atributos, incluyendo el problema de relaciones no lineales entre criterios de selección.
- ***Criterios subjetivos:*** Algunos criterios de selección, particularmente los relacionados con la estética, son en gran medida subjetivos. Las elecciones entre alternativas basadas sólo en criterios subjetivos deben hacerse con todo cuidado. En general, el juicio colectivo del equipo de desarrollo no es la mejor forma de evaluar conceptos sobre dimensiones subjetivas. Más bien, el equipo debe reducir las alternativas a tres o cuatro y luego solicitar las opiniones de clientes representativos del mercado objetivo para el producto, quizá usando maquetas o modelos para representar los conceptos. (Vea el capítulo 9, Prueba de concepto.)
- ***Para facilitar mejora de conceptos:*** Mientras se analiza cada concepto para determinar su calificación, el equipo puede tomar nota de cualquier atributo(s) destacado(s) (positivos o negativos) de los conceptos. Es útil identificar cualquier característica que pudiera aplicarse a otros conceptos, así como problemas que pudieran resolverse para mejorar el concepto. Pueden ponerse notas directamente en las celdas de la matriz de selección. Esas notas son particularmente útiles en el paso 4, cuando el equipo busca combinar, refinar y mejorar los conceptos antes de tomar una decisión de selección.
- ***Dónde incluir costo:*** Casi todos los criterios de selección son adaptaciones de las necesidades del cliente. No obstante, "facilidad de manufactura" y "costo de manufactura" no son necesidades del cliente. La única razón por la que se interesan los clientes acerca del costo de manufactura es porque establece el límite inferior sobre el precio de venta. Sin embargo, el costo es un factor extremadamente importante en la selección de un concepto, porque es uno de los factores que determinan el éxito económico del producto. Por esta razón, estamos a favor de la inclusión de alguna media de costo o facilidad de manufactura cuando se haga evaluación de conceptos, aun cuando estas medidas no sean necesidades del cliente. Del mismo modo, puede haber necesidades de otros involucrados que no fueron expresadas por clientes reales, pero que son importantes para el éxito económico del producto.

- ***Selección de elementos de conceptos agregados:*** Algunos conceptos del producto son realmente agregados de varios conceptos más sencillos. Si todos los conceptos bajo consideración incluyen selecciones de un conjunto de elementos más sencillos, entonces éstos pueden ser evaluados primero y de modo independiente antes de evaluar conceptos más complejos. Esta clase de descomposición puede seguirse en parte desde la estructura empleada en la generación del concepto. Por ejemplo, si todas las jeringas de nuestro ejemplo pudieran usarse con todos los tipos de agujas, entonces la selección de un concepto de aguja podría realizarse de modo independiente de la selección de un concepto general de jeringa.
- ***Aplicación de la selección del concepto en todo el proceso de desarrollo:*** Aun cuando en este capítulo hemos destacado la aplicación del método a la selección de un concepto básico de producto, la selección del concepto se usa una y otra vez a muchos niveles de detalle en el proceso de diseño y desarrollo. Por ejemplo, en el ejemplo de la jeringa, la selección del concepto podría usarse desde el principio del proyecto de desarrollo para decidir entre un método de un solo uso o uno de uso múltiple. Una vez determinado el método básico, la selección del concepto podría usarse para seleccionar el concepto básico del producto, como se ilustra en este capítulo. Por último, la selección del concepto podría usarse al nivel más detallado de diseño para decisiones de resolución como la selección de colores o de materiales.

Resumen

La selección del concepto es el proceso para evaluar conceptos con respecto a necesidades del cliente y otros criterios, comparando los puntos fuertes y los débiles de los conceptos, y seleccionando uno o más para su posterior investigación o desarrollo.

- Todos los equipos usan algún método, implícito o explícito, para seleccionar conceptos. Las técnicas de decisión empleadas para seleccionar conceptos van desde métodos intuitivos hasta métodos estructurados.
- El diseño exitoso es facilitado por la selección estructurada del concepto. Recomendamos un proceso de dos etapas: filtrado y evaluación del concepto.
- El filtrado del concepto usa un concepto de referencia para evaluar variantes del concepto contra criterios de selección. La evaluación del concepto puede usar puntos de referencia diferentes para cada criterio.
- El filtrado del concepto usa un sistema aproximado de comparación para reducir el margen de conceptos bajo consideración.
- La evaluación del concepto utiliza criterios ponderados de selección y una escala de evaluación más fina. La evaluación del concepto puede omitirse si el filtrado del concepto produce un concepto dominante.
- Tanto el filtrado como la evaluación usan una matriz como la base de un proceso de selección de seis pasos. Los seis pasos son:

  1. Elaborar la matriz de selección.
  2. Calificar los conceptos.
  3. Evaluar los conceptos.
  4. Combinar y mejorar los conceptos.

5. Seleccionar uno o más conceptos.
6. Meditar sobre los resultados y el proceso.

- La selección del concepto se aplica no sólo durante el desarrollo del concepto sino en todo el subsiguiente proceso de diseño y desarrollo.
- La selección del concepto es un proceso de equipo que facilita la selección de un concepto ganador, ayuda a construir consenso del equipo y crea un registro del proceso de toma de decisiones.

Referencias y bibliografía

Existen numerosos recursos actuales en internet **www.ulrich-eppinger.net**

La metodología de la selección del concepto es un proceso de toma de decisiones. Souder resume otras técnicas de decisión.

Souder, William E., *Management Decision Methods for Managers of Engineering and Research,* Van Nostrand Reinhold, Nueva York, 1980.

Para un tratamiento más formal de toma de decisión de atributos múltiples, ilustrado con un conjunto de casos prácticos eclécticos e interesantes, vea la obra de Keeney y Raiffa.

Keeney, Ralph L., y Howard Raiffa, *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs,* Cambridge University Press, Nueva York, 1993.

El influyente texto de Pahl y Beitz sobre diseño en ingeniería contiene un excelente conjunto de métodos sistemáticos. El libro resume dos métodos de selección del concepto semejantes a la evaluación del concepto.

Pahl, Gerhard, Wolfgang Beitz, Jörg Feldhusen y Karl-Heinrich Grote, *Engineering Design: A Systematic Approach,* tercera edición, K. Wallacey L. Blessing, traductores, Springer-Verlag, Nueva York, 2007.

Ponderar alternativas para una selección no es idea nueva. La siguiente es una de las primeras obras de consulta para usar matrices de selección con valores.

Alger, J.R., y C.V. Hays, *Creative Synthesis in Design,* Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1964.

El método de filtrado del concepto se basa en el proceso de selección del concepto presentado por Stuart Pugh. Pugh fue conocido por criticar métodos más cuantitativos, como el método de evaluación del concepto presentado en este capítulo. Él dijo que los números pueden ser confusos y reducir el enfoque sobre la creatividad requerida para desarrollar mejores conceptos.

Pugh, Stuart, *Total Design,* Addison-Wesley, Reading, MA, 1990.

La evaluación del concepto es semejante al método que con frecuencia se denomina método de Kepner-Tregoe. Está descrito en su texto junto con otras técnicas para identificación y solución del problema.

Kepner, Charles H., y Benjamin B. Tregoe, *The Rational Manager,* McGraw-Hill, Nueva York, 1965.

Urban y Hauser describen técnicas para determinar la importancia relativa de diferentes atributos del producto.

Urban, Glen L., y John R. Hauser, *Design and Marketing of New Products,* segunda edición, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993.

Otto y Wood presentan un método que incluye límites de incertidumbre con las calificaciones dadas a conceptos en la evaluación de conceptos. Éstas pueden combinarse para deducir una estimación del

error al seleccionar el concepto de más alta evaluación y para calcular un intervalo de confianza para los resultados.

Otto, Kevin N., y Kristin L. Wood, "Estimating Errors in Concept Selection," *ASME Design Engineering Technical Conferences,* Vol. DE-83, 1995, pp. 397-412.

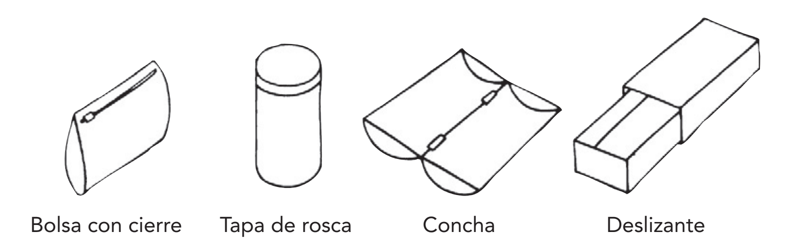
Ejercicios

1. ¿Cómo pueden usarse los métodos de selección del concepto para comparar (*benchmark*) o evaluar productos existentes? Realice esa evaluación para cinco automóviles cuya compra pudiera considerar.

2. Proponga un conjunto de criterios de selección para la selección de tecnología de una batería que se usará en una computadora portátil.

3. Realice el filtrado del concepto para los cuatro conceptos de portalápices que se ven a continuación. Suponga que los portalápices son para un miembro de un equipo de desarrollo del producto que continuamente está moviéndose de un lado a otro.

4. Repita el ejercicio 3, pero use evaluación del concepto



Preguntas de análisis

1. ¿Cómo podría usar el método de selección del concepto para determinar si ofrece al mercado un solo producto o si ofrece varias opciones de producto?

2. ¿Cómo podría usar el método para determinar cuáles características del producto deberían ser estándar y cuáles deberían ser opcionales o adiciones?

3 . ¿Puede usted imaginar una herramienta interactiva de computadora que permitiría a un grupo grande (20 personas o más, por ejemplo) participar en el proceso de selección del concepto? ¿Cómo podría funcionar esa herramienta?

4. ¿Qué podría causar una situación en la que un equipo de desarrollo use el método de selección del concepto para decidir un concepto que luego resulte en un fracaso comercial?

Apéndice A

Ejemplo de matriz de filtrado del concepto

Esta matriz fue creada y empleada por un grupo de desarrollo para diseñar un collar para sujetar pesos en una barra.

	Conceptos														
Criterios de selección	**Barra**	**Cierre maestro**	**Banda de velcro**	**Banda de hule**	**Caimán**	**Pestillo de cuatro piezas**	**Resorte torsional**	**Tipo tornillo**	**Tuerca de mariposa**	**Seguro imperdible**	**Cierre de manguera**	**Cierre C**	**Barra elástica**	**Placas magnéticas**	**Barra roscada**
Funcionalidad															
Peso ligero	+	0	+	+	+	0	+	–	–	+	0	0	+	+	0
Ajusta a diferentes barras	+	0	+	+	+	0	0	0	0	+	0	+	0	–	0
Pesos asegurados lateralmente	0	0	–	–	0	0	0	–	+	–	0	0	–	0	+
Comodidad															
Apriete de extremo/lado	0	0	0	0	0	0	–	–	–	0	–	0	+	+	–
No rueda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cambia pesas siin quitar collar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	0
Comodidad de colocación al cambiar pesas	0	0	+	+	0	0	–	–	–	0	–	0	+	+	–
Ergonomía															
Asegurar/soltar (un movimiento)	+	0	–	–	+	0	–	–	–	0	–	–	+	–	–
Poca fuerza para asegurar/soltar	0	0	0	0	–	0	–	0	0	0	0	0	+	–	0
Uso para diestros o zurdos	0	0	0	0	0	0	0	–	–	0	–	–	0	0	–
No resbala cuando húmedo	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	0
Uso con una mano	+	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+	+	0
Durabilidad															
Longevidad	–	–	–	–	0	0	0	+	0	0	+	+	–	–	+
Otros															
Costo de materia prima	0	0	+	+	0	0	0	0	–	+	0	0	–	–	–
Facilidad de manufactura	0	–	+	+	0	0	0	+	–	+	+	0	–	–	–
Usa barras de pesas existentes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	0	–
Suma +	4	0	6	6	4	0	1	2	1	4	2	2	8	6	2
Suma 0	11	14	7	7	11	16	11	8	8	11	10	12	3	4	7
Suma –	1	2	3	3	1	0	4	6	7	1	4	2	5	6	7
Evaluación neta	3	–2	3	3	3	0	–3	–4	–6	3	–2	0	3	0	–5
Calificación	1	10	1	1	1	7	12	13	15	1	10	7	1	7	15

Apéndice B

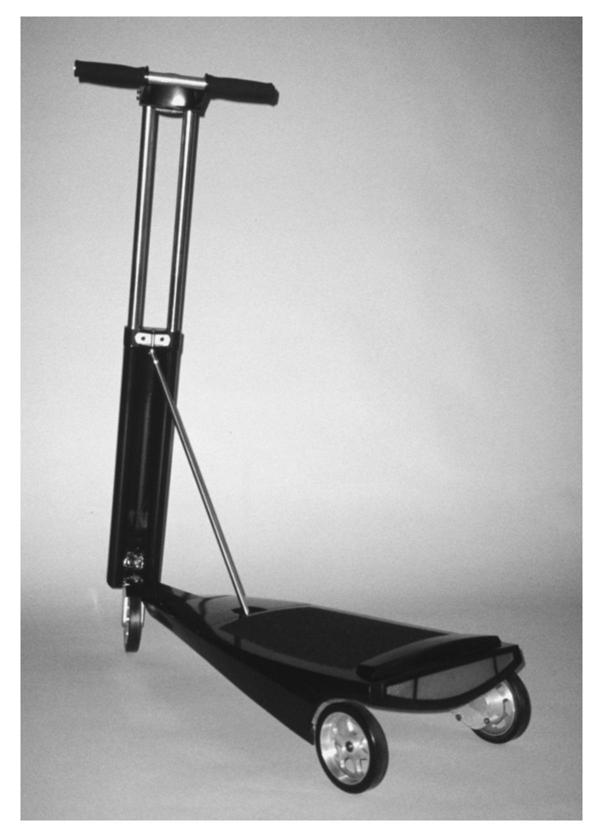
Ejemplo de matriz de evaluación del concepto

Un grupo de desarrollo generó esta matriz cuando seleccionó un nuevo concepto para un recipiente de líquidos a prueba de derrames y uso en botes. Nótese que, en este caso, el equipo seleccionó no definir un solo concepto como referencia para todos los criterios de selección.

		Concepto A		Concepto C		Concepto F		Concepto I		Concepto J		Concepto K		Concepto O	
Criterios de selección	**Peso**	**Calificación**	**Ponderado Evaluación**	**Calificación**	**Ponderado Evaluación**	**Calificación**	**Ponderado Evaluación**	**Calificación**	**Ponderado Evaluación**	**Calificación**	**Ponderado Evaluación**	**Calificación**	**Ponderado Evaluación**	**Calificación**	**Ponderado Evaluación**
Uso flexible	20														
Uso en lugares diferentes	15	7	105	7	105	8	120	6	90	6	90	5	75	7	105
Contiene líquidos diferentes	5	5	25	5	25	3	15	4	20	5	25	3	15	3	15
Conserva condición del líquido	15														
Retiene temperatura del líquido	13	5	65	5	65	5	65	1	13	5	65	5	65	5	65
Impide entrada de agua	2	5	10	7	14	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10
Resiste el ambiente de navegar en bote	5														
No se rompe al caer	1	6	6	6	6	9	9	7	7	5	5	9	9	6	6
Resiste corrosión de agua de mar	2	7	14	7	14	8	16	8	16	5	10	9	18	7	14
Flota cuando cae en el agua	2	5	10	6	12	8	16	4	8	5	10	8	16	7	14
Conserva estable el líquido	20														
Impide derrames	7	3	21	4	28	3	21	5	35	5	35	3	21	3	21
Impide moverse en olas	6	7	42	8	48	7	42	5	30	5	30	7	42	7	42
No resbala durante cabeceos	7	5	35	5	35	5	35	5	35	5	35	5	35	5	35
Requiere poco mantenimiento	5														
Fácil almacenamiento cuando no se usa	1	7	7	6	6	8	8	9	9	4	4	8	8	7	7
Fácil de mantener una apariencia limpia	2	6	12	6	12	3	6	4	8	5	10	5	10	6	12
Permite el vaciado total del líquido	2	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10
Fácil de usar	15														
Se puede usar con una mano	5	7	35	7	35	7	35	6	30	5	25	7	35	7	35
Fácil/cómodo para sujetarlo	5	8	40	8	40	6	30	5	25	5	25	6	30	8	40
Fácil de cambiar los recipientes de líquido	2	5	10	5	10	5	10	8	16	5	10	5	10	5	10
Funciona de modo confiable	3	3	9	3	9	3	9	3	9	4	12	4	12	3	9
Atractivo en entorno	10														
No se daña la superficie del bote	5	8	40	8	40	8	40	8	40	8	40	6	30	8	40
Aspecto atractivo	5	7	35	8	40	3	15	4	20	5	25	5	25	8	40
Facilidad de manufactura	10														
Materiales de bajo costo	4	5	20	4	16	7	28	8	32	4	16	8	32	6	24
Baja complejidad de piezas	3	4	12	3	9	7	21	4	12	3	9	8	24	5	15
Bajo número de pasos para ensamble	3	5	15	5	15	8	24	3	9	3	9	8	24	6	18
Evaluación total			578		594		585		484		510		556		587
Calificación			4		1		3		7		6		5		2

CAPÍTULO NUEVE

Prueba de concepto



Cortesía de emPower Corporation

FIGURA 9-1 Prototipo del concepto de producto del patín eléctrico de emPower Corporation.

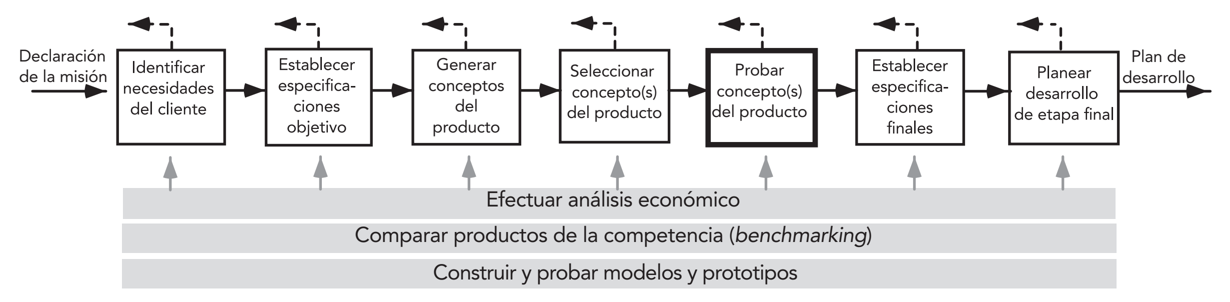


FIGURA 9-2 Prueba de conceptos en relación con otras actividades de desarrollo del concepto.

Una empresa de reciente creación, emPower Corporation, había desarrollado el concepto de un nuevo producto para abordar el mercado de transporte personal. La figura 9-1 muestra una fotografía de un prototipo del producto. El concepto fue un patín eléctrico de tres ruedas que se podía doblar y llevar fácilmente. Para decidir si valía la pena continuar con su desarrollo y apoyar el trabajo de financiamiento de la compañía, emPower deseaba evaluar la respuesta de clientes a este concepto.

En este capítulo nos concentramos principalmente en pruebas hechas durante la fase de desarrollo del concepto. En una prueba de concepto, el equipo de desarrollo solicita una respuesta a una descripción del concepto del producto, que provenga de clientes potenciales del mercado meta. Este tipo de prueba puede usarse para seleccionar cuál de dos o más conceptos debe realizarse, para captar información de clientes potenciales sobre cómo mejorar un concepto y estimar el potencial de ventas del producto. Nótese que a veces se pueden completar otros tipos de prueba con clientes potenciales, además del que se realice durante el desarrollo del concepto. Por ejemplo, alguna clase de prueba al cliente, por lo general basada sólo en una descripción verbal del concepto, se puede usar para identificar la oportunidad que tiene el producto original que forma la base de la declaración de misión del proyecto. También se puede usar una prueba para refinar el pronóstico de demanda después que el desarrollo del producto se encuentre casi completo, pero antes de que una empresa se dedique a su producción y lanzamiento.

La figura 9-2 muestra la prueba de concepto con respecto a otras actividades de desarrollo del concepto. La prueba de concepto está estrechamente relacionada con la selección del concepto (capítulo 8), en que ambas actividades tienen el propósito de reducir aún más el conjunto de conceptos bajo consideración. No obstante, la prueba de concepto es distinta en cuanto a que está basada en datos reunidos directamente de clientes potenciales y se apoya en menor grado en juicios hechos por el equipo de desarrollo. La razón por la que la prueba de concepto generalmente sigue a la selección del concepto es que un equipo no puede probar más que unos cuantos conceptos directamente con clientes potenciales. En consecuencia, el equipo primero debe reducir el conjunto de alternativas bajo consideración a muy pocas de éstas. La prueba de concepto también está estrechamente relacionada con la construcción de prototipos (capítulo 14), porque la prueba de concepto invariablemente comprende alguna clase de representación del concepto del producto, con frecuencia un prototipo. Uno de los resultados finales de una prueba de concepto puede ser una estimación de cuántas unidades del producto podría vender la compañía. Este pronóstico es un elemento clave de la información empleada para hacer un análisis económico del producto (capítulo 15).

Un equipo puede escoger no hacer prueba alguna del concepto si el tiempo necesario para probar el concepto es grande con respecto a los ciclos de vida útil del producto en la categoría del producto, o si el costo de la prueba es grande con respecto al costo de lanzar realmente el producto. Por ejemplo, en el negocio de software de internet, algunos observadores y practicantes dicen que sólo lanzar un producto y refinarlo repetidas veces, con las subsiguientes generaciones del producto, es una mejor estrategia que probar con todo cuidado un concepto antes de desarrollarlo por completo. Mientras que quizás es apropiada para algunos productos, esta estrategia sería ridícula en el desarrollo de un nuevo avión comercial, por ejemplo, donde los costos de desarrollo y tiempo son enormes, y un fracaso puede ser desastroso. Casi todas las categorías de productos caen entre estos extremos y en la mayor parte de los casos está garantizada alguna forma de prueba de concepto.

Este capítulo presenta un método de siete pasos para probar conceptos del producto:

1. Definir el propósito de la prueba de concepto.
2. Escoger una población a encuestar.
3. Seleccionar un formato de encuesta.
4. Comunicar el concepto.
5. Medir respuesta del cliente.
6. Interpretar los resultados.
7. Reflexionar sobre los resultados del proceso.

Ilustramos este método con el ejemplo del patín eléctrico.

Paso 1: Definir el propósito de la prueba de concepto

Como primer paso en la prueba de concepto, recomendamos que el equipo anote explícitamente las preguntas que el equipo desea contestar con la prueba. La prueba de concepto es en esencia una actividad experimental y, al igual que con cualquier experimento, conocer el propósito del experimento es esencial para diseñar un método experimental efectivo. Este paso es muy semejante a "definir el propósito" en la construcción del prototipo. (Vea el capítulo 14, Construcción de prototipos.) Las preguntas principales que se manejan en la prueba del concepto son por lo general:

- ¿Cuál de varios conceptos alternativos debe perseguirse?
- ¿Cómo puede mejorarse el concepto para satisfacer mejor las necesidades del cliente?
- ¿Cuántas unidades es probable que se vendan, aproximadamente?
- ¿Debe continuarse el desarrollo del concepto?

Paso 2: Escoger una población a encuestar

Una suposición que sirve de base a la prueba del concepto es que la población de potenciales clientes encuestados representa a la del mercado objetivo para el producto. Si la población de la encuesta está más o menos entusiasmada con el producto de lo que pueda estar la población objetivo para el producto, entonces quedarán sesgadas las inferencias basadas en la prueba del concepto. En consecuencia, el equipo debe escoger una población a encuestar que refleje el mercado objetivo en tantas formas como sea posible. En la encuesta real, las primeras preguntas reciben el nombre de *preguntas de filtrado* y generalmente se usan para verificar que quien responda a ellas se ajuste a la definición del mercado objetivo para el producto.

Es frecuente que un producto resuelva múltiples segmentos del mercado. En tales casos, una prueba precisa del concepto requiere que sean encuestados los potenciales clientes de cada segmento objetivo. Llevar a cabo una encuesta a cada posible segmento puede ser prohibitivo en costo y tiempo, y en tales casos, el equipo puede elegir encuestar potenciales clientes sólo del segmento más grande. No obstante, cuando sea muestreado sólo un segmento, es probable que las inferencias acerca de la respuesta de todo el mercado sean sesgadas.

Para el patín hubo dos segmentos principales de consumidores: estudiantes universitarios y viajeros frecuentes. El equipo decidió formar una población de encuesta de ambos segmentos. El equipo también había identificado varios segmentos secundarios más pequeños, incluyendo transportación para empleados de fábricas y aeropuertos.

El tamaño muestral de la encuesta debe ser lo suficientemente grande para que la confianza del equipo en los resultados sea bastante alta para guiar la toma de decisiones. Los tamaños muestrales para prueba del concepto a veces son de sólo 10 (por ejemplo, cuando se capta retroalimentación cualitativa en un nuevo equipo de cirugía para un procedimiento altamente especializado) o de hasta 1 000 (por ejemplo, cuando se trata de evaluar cuantitativamente la demanda potencial para un nuevo teléfono portátil que esté destinado a un segmento de mercado que abarque unos 10 millones de familias). Aun cuando no hay fórmulas sencillas para determinar el tamaño muestral, algunos de los factores que mueven el tamaño muestral se ilustran en la figura 9-3.

Dependiendo de los datos deseados a recolectarse del proceso de prueba del concepto, el equipo puede en realidad estructurar múltiples encuestas con diferentes objetivos. Cada una de estas encuestas puede comprender una población muestral diferente y un tamaño muestral diferente. El grupo emPower realizó dos pruebas del concepto. En la primera, el equipo muestreó más o menos una docena de clientes potenciales para pedir retroalimentación sobre lo atractivo del concepto básico. Posteriormente, el equipo realizó una encuesta de intención de compra de 1 000 clientes que se utilizó para hacer un pronóstico de demanda en el que se basaron decisiones financieras. Debido a la importancia de este objetivo, el equipo pensó que el tiempo y gasto asociados con una muestra tan grande estuvieron justificados.

Factores que favorecen un tamaño muestral más pequeño	**Factores que favorecen un tamaño muestral más grande**
• La prueba se realiza al inicio del proceso de desarrollo del concepto. • La prueba está destinada principalmente a reunir datos cualitativos. • Encuestar clientes potenciales es relativamente costoso en tiempo o dinero. • La inversión necesaria para desarrollar y lanzar el producto es relativamente pequeña. • Se espera que una parte relativamente grande del mercado objetivo valore el producto (es decir, sin una muestra grande se pueden hallar numerosos clientes positivamente interesados que respondan la encuesta).	• La prueba se realiza más adelante en el proceso de desarrollo del concepto. • La prueba está destinada principalmente a evaluar cuantitativamente la demanda. • Encuestar clientes es relativamente rápido y de bajo costo. • La inversión necesaria para desarrollar y lanzar el producto es relativamente alta. • Se espera que una parte relativamente pequeña del mercado objetivo valore el producto (es decir, habrá que hacer muestreo a numerosas personas para estimar de manera confiable la fracción que valore al producto).

FIGURA 9-3 Factores que llevan a tamaños muestrales relativamente más pequeños o más grandes al aplicar una encuesta.

Paso 3: Seleccionar un formato de encuesta

Los formatos siguientes se usan por lo común en prueba del concepto:

- ***Interacción personal:*** En este formato, un entrevistador interactúa directamente con quien responda sus preguntas. Las interacciones personales pueden tomar la forma de *intercepciones* (es decir, detener a una persona en un centro comercial, en un parque o en una calle) concertadas por teléfono, entrevistas con clientes potenciales en un módulo de una exposición o en grupos de enfoque (es decir, reuniones en grupos de 6-12 personas concertadas de antemano).
- ***Teléfono:*** Las entrevistas pueden ser concertadas o dirigidas previamente a personas específicas (por ejemplo, a dentistas pediatras) o pueden ser "llamadas frías" de consumidores de una población objetivo.
- ***Correo postal:*** En encuestas por correo, se envían los materiales y a quienes decidan responder se les pide completar un formato. Las encuestas por correo son un poco más lentas que otros métodos y sufren de tener porcentajes de respuesta relativamente bajos. Algún incentivo económico, o un regalo, se ofrece en ocasiones para aumentar la respuesta.
- ***Correo electrónico:*** Las encuestas por correo electrónico son muy semejantes a las de correo postal, excepto que (hasta este momento) quienes responden parecen estar ligeramente más dispuestos a contestar que por correo postal. Con la proliferación de los cibercorreos no deseados esta tendencia podría terminar. Muchos usuarios de correo electrónico reaccionan de manera negativa a correspondencia comercial no solicitada, por lo que recomendamos que las encuestas por correo electrónico se usen sólo cuando sea probable que quienes respondan perciban un beneficio por su participación o cuando el equipo ya haya establecido alguna clase de relación positiva con la población objetivo.
- ***Internet:*** Con el uso de internet, un equipo puede crear una página virtual de prueba del concepto en la que los participantes pueden observar conceptos y dar respuestas. Un mensaje de correo electrónico suele usarse para reclutar personas que respondan a visitar la página de la prueba.

Cada uno de estos formatos presenta riesgos de sesgo muestral. Por ejemplo, el uso de formatos electrónicos puede sesgar la muestra hacia quienes son tecnológicamente más refinados. Para algunos productos, este refinamiento es parte del perfil del mercado objetivo (por ejemplo, es probable que el mercado objetivo para productos de software de internet se sienta más cómodo con formatos de encuesta electrónica). Por el contrario, una encuesta por internet podría ser un formato particularmente malo para probar un concepto de computadora basado en televisión y dirigido a personas sin computadora personal.

Una prueba de exploración, típica en las primeras fases de desarrollo del concepto, se beneficia de formatos interactivos ilimitados. Recomendamos que el equipo utilice formatos de entrevista personal cuando presente alternativas múltiples del concepto o cuando solicite ideas para mejorar un concepto. En estas situaciones, los desarrolladores del producto se benefician de efectuar las entrevistas porque pueden observar directamente las reacciones al producto en forma detallada. Cuando el propósito de la prueba del concepto se concentre más, los formatos más estructurados como el correo o teléfono son más apropiados. Si las preguntas están muy enfocadas, el equipo puede contratar una empresa de investigación de mercados para implementar la prueba del concepto. Cuando se capte información destinada principalmente para pronosticar demanda, por lo general se emplean terceros para recabar la información en formatos de

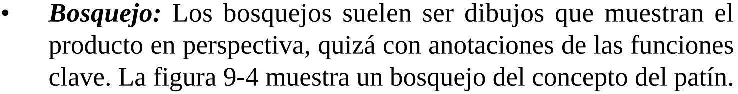
entrevista personal. Esto ayuda a evitar un sesgo de simpatía, es decir, personas que responden e indican que les gusta el concepto para agradar a un ansioso desarrollador de un producto.

Paso 4: Comunicar el concepto

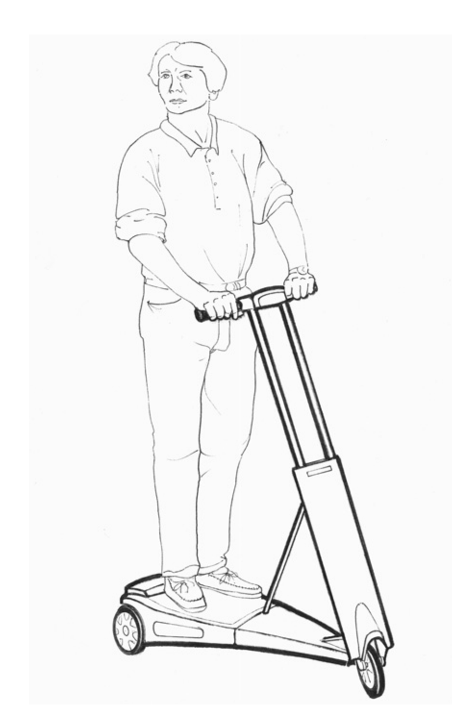
La selección del formato de encuesta está estrechamente unida a la forma en la que el concepto se ha de comunicar. Los conceptos pueden ser comunicados en cualquiera de las siguientes formas, que aparecen listadas en orden de riqueza creciente de la descripción.

- ***Descripción verbal:*** Una descripción verbal es generalmente un párrafo corto o una lista de enunciados que resume el concepto del producto. Esta descripción puede ser leída por quien responda o puede ser leída en voz alta por la persona que aplique la encuesta. Por ejemplo, el concepto del patín podría describirse como sigue:

  El producto es un patín eléctrico ligero que se puede doblar fácilmente y llevar dentro de un edificio o en el transporte público. El patín pesa alrededor de 25 libras. Corre a velocidades de hasta 15 millas por hora y puede recorrer 12 millas con una sola carga de batería. El patín se puede recargar en casi dos horas desde un tomacorriente estándar; es fácil viajar en él y tiene controles sencillos, sólo un botón de acelerador y freno.



- ***Bosquejo:*** Los bosquejos suelen ser dibujos que muestran el producto en perspectiva, quizá con anotaciones de las funciones clave. La figura 9-4 muestra un bosquejo del concepto del patín.
- ***Fotos e ilustraciones:*** Pueden usarse fotografías para comunicar el concepto cuando existen modelos con la apariencia del concepto del producto. Las ilustraciones son casi tan realistas como las fotografías del concepto; pueden elaborarse a pluma, con marcadores o usando herramientas de diseño asistido por computadora. La figura 9-5 muestra una ilustración del patín creada usando software de diseño asistido por computadora.
- ***Secuencia de imágenes:*** Una secuencia de imágenes es una serie de imágenes que comunica una secuencia temporal de acciones que hablan del producto. Por ejemplo, uno de los potenciales beneficios del patín es que puede guardarse y transportarse fácilmente. Esta situación se ilustra en la secuencia de imágenes de la figura 9-6.
- ***Video:*** Las imágenes de video permiten incluso más dinamismo que la secuencia de imágenes. Con video, la forma del producto mismo se puede comunicar claramente, al igual que la forma en la que se usa el producto. El equipo del patín empleó un video en su encuesta de intención de compra. El video mostraba a estudiantes y viajeros frecuentes en prototipos del producto y mostraba una animación del mecanismo para guardarlo.
- ***Simulación:*** La simulación generalmente se pone en práctica como un software que imita la función o características interactivas del producto. Es probable que la simulación no sea la forma ideal de comunicar las características clave de un patín,



Bosquejo hecho por David Wallace

FIGURA 9-4 Bosquejo del concepto del patín.

FIGURA 9-5 Ilustración del patín hecha con software de diseño asistido por computadora.



Cortesía de emPower Corporation

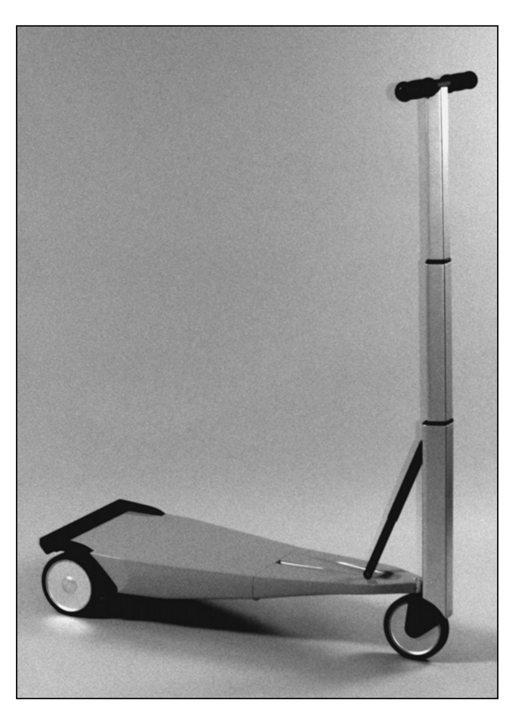
FIGURA 9-6 Secuencia de imágenes que ilustra situaciones para almacenamiento, transporte y uso.



Cortesía de emPower Corporation

pero en otros casos puede ser eficaz. Por ejemplo, al probar controles para equipos electrónicos, puede ser creada en pantalla una imagen visual del equipo y el usuario puede controlar el equipo simulado por medio de una pantalla sensible al tacto o un clic del ratón y puede observar imágenes y sonidos simulados.

- ***Multimedios interactivos:*** Los multimedios interactivos combinan la riqueza visual del video con la interactividad de una simulación. Con el uso de multimedios se puede ver video e imágenes fijas del producto. Quien responda la entrevista puede ver información verbal y gráfica, y escuchar información por el audio. La interacción permite que quien responda escoja de entre varias fuentes de información disponible del producto y, en algunos casos, experimentar los controles e imágenes de un producto simulado. Desafortunadamente, el desarrollo de sistemas de multimedios tiene un alto costo y por ello se puede justificar sólo para trabajos grandes de desarrollo de productos.
- ***Modelos de aspecto físico:*** Los modelos de aspecto físico, también conocidos como modelos de apariencia, muestran en vivo la forma y aspecto de un producto. Es frecuente que sean de madera o espuma de polímero y son pintados para que se vean como los productos reales; en algunos casos, se incluye en el modelo una funcionalidad limitada. El grupo del patín construyó varios modelos de apariencia, uno de los cuales se articuló para que se pudiera demostrar la forma de doblarlo. La figura 9-7 muestra una fotografía de este modelo.
- ***Prototipos operacionales:*** Cuando los haya, los prototipos operacionales o modelos "trabaja como" pueden ser útiles en la prueba del concepto. No obstante, el uso de prototipos operacionales también es riesgoso. El principal riesgo es que quienes respondan van a comparar el prototipo con el producto terminado. En algunos casos, los prototipos funcionan mejor que el producto final (por ejemplo, porque el prototipo utiliza componentes mejores y más costosos como son motores o baterías). En la mayoría de los casos, el producto final funciona mejor que el prototipo y casi siempre el prototipo es menos atractivo a la vista que el producto final. A veces se pueden usar prototipos separados de "trabaja como" y de apariencia, uno para ilustrar cómo aparecerá el producto en producción y el otro para ilustrar la forma en que funcionaría. La figura 9-8 muestra un prototipo operacional del patín que se empleó en pruebas tempranas del concepto.



Cortesía de emPower Corporation

FIGURA 9-7 Modelo de apariencia del concepto del patín.

Alinear el formato de encuesta con los medios de comunicar el concepto

La selección del formato de encuesta está estrechamente ligada a los medios de comunicar el concepto del producto. Por ejemplo, el equipo obviamente no puede demostrar el patín con un modelo funcional mediante el uso de una encuesta por teléfono. La figura 9-9 identifica cuáles medios de comunicar conceptos son apropiados para cada formato de encuesta.



Cortesía de emPower Corporation

FIGURA 9-8 Prototipo funcional del concepto del patín.

Problemas para comunicar el concepto

Cuando se comunica el concepto del producto, el equipo debe decidir con qué intensidad quiere promover el producto y sus beneficios. El patín podría describirse como un "aparato eléctrico de movilidad personal" o como "nuevo y excelente patín eléctrico que libra del encierro". En nuestra opinión, la descripción del concepto debe reflejar estrechamente la información que es probable que el usuario considere al tomar una decisión de compra. Si se usa información altamente promocional, puede clasificarse como "muestra de anuncio", quizá suplementado por modelos de "artículos de revista" o "comentarios de propietarios actuales" que dan descripciones adicionales del producto.

Investigadores y practicantes alegan sin parar sobre si el precio de compra del producto debe incluirse como parte de la descripción del concepto. El precio es una palanca muy poderosa sobre la respuesta del cliente y, por lo tanto, la información del precio puede influir de manera muy fuerte en los resultados de una prueba del concepto. Recomendamos que el precio se omita en la descripción del concepto, a menos que se espere que el precio del producto sea inesperadamente alto o bajo. Por ejemplo, el beneficio principal de un concepto puede ser que dé funcionalidad básica a un precio muy bajo. En este caso, el precio debe incluirse como parte de la descripción del concepto. Por el contrario, un producto puede dar un rendimiento sumamente alto o contar con características únicas, pero sólo a un precio muy alto. De este modo, el precio también debe incluirse como parte de la descripción del concepto. Cuando el precio del producto pudiera ser muy semejante al de productos existentes y a expectativas

	Teléfono	Correo electrónico	Correo postal	Internet	Personal
Descripción verbal	•	•	•	•	•
Bosquejo		•	•	•	•
Foto o ilustración		•	•	•	•
Secuencia de imágenes		•	•	•	•
Video				•	•
Simulación				•	•
Multimedio interactivo				•	•
Modelo físico					•
Prototipo operacional					•

FIGURA 9-9 Aplicabilidad de diferentes formatos de encuesta para formas diversas de comunicar el concepto del producto.

del cliente, podría omitirse de la descripción del concepto. En lugar de incluir el precio en la descripción del concepto, sugerimos que a quien responda se le pregunte de manera explícita cuál sería su expectativa del precio. Si las expectativas del cliente son muy distintas a los planes de precio del equipo, entonces éste necesitaría considerar modificaciones al concepto o repetir la prueba del concepto incluyendo el precio como atributo del producto. Debido a que el patín fue una nueva categoría de producto para la cual los clientes no se habían formado expectativas claras del precio, el grupo emPower decidió incluir su etiqueta de precio como parte de la descripción del concepto.

En lugar de mostrar un solo concepto, el equipo puede pedirle a quien responda que seleccione de varias alternativas. Este método es atractivo cuando el equipo está tratando de decidir entre varios conceptos bajo consideración. Una variante de este método es presentar el concepto del nuevo producto junto con descripciones e imágenes de los productos existentes más exitosos. Este método tiene la ventaja de permitirle a quien responda evaluar directamente los atributos del concepto del producto en comparación con los de la competencia. Suponiendo que los productos se distribuyan y promuevan por igual, este método también permite al equipo estimar la potencial participación del mercado. Es probable que el uso de una técnica de encuesta de selección forzada sea más eficaz, en casos para los cuales hay una categoría de producto estrechamente definida con relativamente pocos productos existentes.

Paso 5: Medir respuesta del cliente

Casi todas las encuestas de prueba del concepto comunican primero el concepto del producto y luego miden la respuesta del cliente. Cuando una prueba de concepto se efectúa en la primera fase de desarrollo del concepto, la respuesta del cliente suele medirse al pedirle a quien responda que escoja entre dos o más conceptos alternativos. Otras preguntas se enfocan en por qué los encuestados reaccionan en la forma en que lo hacen y sobre cómo podrían mejorarse los conceptos del producto. Las pruebas del concepto también suelen tratar de medir la *intención de compra.* La escala que más se emplea para la intención de compra tiene cinco categorías de respuesta:

- Definitivamente compraría.
- Quizá compraría.
- Podría o no comprar.
- Probablemente no compraría.
- En definitiva no compraría.

Hay muchas alternativas para esta escala, incluyendo contar con siete o más categorías de respuestas o pedir a encuestados que indiquen una probabilidad numérica de compra.

La figura 9-10 muestra un ejemplo de un formato de encuesta para el patín. Este formato fue diseñado para ser una guía de entrevista para formato de entrevista personal, donde se usaron un folleto y un prototipo funcional para comunicar el concepto del producto.

Paso 6: Interpretar los resultados

Si el equipo está simplemente interesado en comparar dos o más conceptos, la interpretación de los resultados es clara. Si un concepto domina a los otros y el equipo confía en que los en-

ENCUESTA DE PRUEBA DEL CONCEPTO: Equipo eléctrico para transporte personal

Estoy reuniendo información para un nuevo producto de transporte y espero que usted esté dispuesto a compartir sus opiniones conmigo.

¿Es usted estudiante universitario?___________

<*Si la respuesta es no, dé las gracias al entrevistado y termine la encuesta.*>

¿Vive usted entre una y tres millas del campus?_____________

¿Recorre usted distancias de una a tres millas entre clases u otras actividades durante su día?_________

<*Si la respuesta es no a ésta* **y** *a la pregunta previa, dé las gracias al entrevistado y termine la encuesta.*>

¿Actualmente cómo va usted de su casa al campus?_______________

¿Cómo se desplaza actualmente por el campus durante el día? _______________

Por favor acepte este folleto del producto. <*Muestre el folleto.*>

El producto es un patín eléctrico ligero que se puede doblar y llevar al interior de un edificio o en el transporte público. El patín pesa alrededor de 25 libras; se mueve a velocidades de hasta 15 millas por hora y puede recorrer 12 millas con una sola carga. El patín puede recargarse en dos horas de un tomacorriente estándar, es fácil de usar y tiene controles sencillos, sólo un botón de acelerador y un freno.

Si el producto costara 689 dólares y pudiera adquirirse de un distribuidor dentro del campus o cerca de éste, ¿qué tan probable es que usted lo compre dentro del año siguiente?

❏	❏	❏	❏	❏
Definitivamente no compraría el patín	**Probablemente no compraría** el patín	**Podría o no comprar** el patín	**Probablemente compraría** el patín	**Definitivamente compraría** el patín

¿Le interesaría dar un paseo en un prototipo del producto?

<Dé instrucciones de operación y ajuste el casco.>

Con base en su experiencia del producto, ¿qué tan probable es que usted lo compre dentro del año siguiente?

❏	❏	❏	❏	❏
Definitivamente no compraría el patín	**Probablemente no compraría** el patín	**Podría o no comprar** el patín	**Probablemente compraría** el patín	**Definitivamente compraría** el patín

¿Cómo se podría mejorar este producto?

<Haga preguntas abiertas para obtener retroalimentación sobre el concepto.>

FIGURA 9-10 Ejemplo de guía de entrevista (abreviada) para una prueba de concepto del patín eléctrico.

cuestados entienden las diferencias clave entre los conceptos, entonces el equipo simplemente puede escoger el concepto preferido. Si los resultados no son concluyentes, el equipo puede determinar escoger un concepto basado en costo u otras consideraciones, o puede decidir ofrecer múltiples versiones del producto. Nótese que debe tenerse cuidado al hacer este juicio para casos en que los costos de manufactura son muy diferentes entre los conceptos bajo compara-

ción, y en los que no se comunica información de precio a encuestados. Así, éstos pueden estar sesgados para seleccionar la alternativa más costosa.

En muchos casos, el equipo también está interesado en estimar la demanda de un producto en el periodo siguiente al lanzamiento, por lo general un año. Aquí presentamos un modelo para estimar las ventas potenciales de *duraderos.* Por *duraderos* queremos decir que son productos que duran varios años y para los que hay, por lo tanto, un porcentaje muy bajo de compra repetida. Estos productos están en contraste con los artículos de consumo empacados, como las hojas de afeitar, pasta dental o alimentos congelados, para los cuales los modelos de pronóstico deben considerar porcentajes de prueba y compra repetida subsiguiente.

Antes de continuar con el modelo, observemos que el pronóstico de ventas de nuevos productos está sujeto a gran incertidumbre y exhibe errores notablemente altos. No obstante, los pronósticos tienden a estar correlacionados con la demanda real y por lo tanto dan información útil al equipo.

Estimamos Q, la cantidad del producto que se espera vender durante un periodo, como

$$Q = N \times A \times P$$

N es el número de clientes potenciales que se espera que hagan compras durante el periodo. Para una categoría de productos existente y estable (por ejemplo bicicletas) N es el número esperado de compras a hacerse de productos existentes en la categoría en el periodo.

A es la fracción de estos clientes potenciales o compras para los que el producto está *disponible*, y el cliente está *informado* del producto. (En situaciones donde se supone que la información y disponibilidad son factores independientes, se multiplican para generar A.)

P es la probabilidad de que el producto sea comprado si se dispone de él y si el cliente está informado del mismo. P se calcula a su vez mediante

$$P = C_{\text{definitivamente}} \times F_{\text{definitivamente}} + C_{\text{probablemente}} \times F_{\text{probablemente}}$$

$F_{\text{definitivamente}}$ es la fracción de encuestados que indican en la encuesta de prueba de concepto que *definitivamente comprarían* (a veces llamada evaluación “casilla superior”).

$F_{\text{probablemente}}$ es la fracción de encuestados que indican que *probablemente comprarían* (a veces llamada evaluación “segunda casilla”).

$C_{\text{definitivamente}}$ y $C_{\text{probablemente}}$ son constantes de calibración por lo general establecidas con base en la experiencia de una empresa con productos similares en el pasado. Generalmente, los valores de $C_{\text{definitivamente}}$ y $C_{\text{probablemente}}$ caen en estos intervalos: $0.10 < C_{\text{definitivamente}} < 0.50$, $0 < C_{\text{probablemente}} < 0.25$. Si no existe historia previa sobre esto, muchos grupos emplean valores de $C_{\text{definitivamente}} = 0.4$ y $C_{\text{probablemente}} = 0.2$. Nótese que estos valores reflejan el sesgo típico de entrevistados para *sobrestimar* la probabilidad de que en realidad comprarían el producto.

Entre otros posibles esquemas para estimar P hay una función que incluye la fracción de entrevistas en todas las categorías de respuesta, no sólo en las dos superiores.

Para un producto asociado con una categoría enteramente nueva (por ejemplo, patines portátiles para viajeros frecuentes), la interpretación de estas variables es ligeramente diferente. En este caso, N es el número de clientes del mercado objetivo para el nuevo producto y P es la probabilidad de que un cliente del mercado objetivo compre el producto dentro de un periodo determinado, con frecuencia un año. Nótese que esta interpretación se refleja en las preguntas de encuesta de la figura 9-10, en donde al entrevistado se le pide que indique la probabilidad de comprar “dentro del año siguiente”.

Para aclarar el modelo, considere estos dos ejemplos numéricos correspondientes a dos segmentos del mercado y posibles posicionamientos del producto para el concepto del patín.

Patín vendido como transporte individual en grandes fábricas Ésta es una categoría existente. Suponga que actualmente se venden patines en este mercado a razón de 150 000 unidades por año ($N = 150\,000$). Suponga que la compañía vende el producto a través de un solo distribuidor que constituye 25 por ciento de las ventas en esta categoría ($A = 0.25$). Suponga que los resultados de una prueba de concepto, con gerentes de fábrica responsables de la adquisición de equipos de transporte, indican una fracción de 0.30 de que definitivamente compraría y una fracción de 0.20 de que probablemente compraría. Si usamos un valor de 0.4 para $C_{\text{definitivamente}}$ y 0.2 para $C_{\text{probablemente}}$, entonces

$$P = 0.4 \times 0.30 + 0.2 \times 0.20 = 0.16$$

y

$$Q = 150\,000 \times 0.25 \times 0.16 = 6\,000 \text{ unidades/año}$$

Patín vendido a estudiantes universitarios Ésta es una nueva categoría y, por lo tanto, plantea un desafío de estimación mucho más difícil. Primero, ¿cuál debería ser el valor de N? Estrictamente hablando (al escribir este libro) hay muy pocas ventas existentes de patines eléctricos a estudiantes universitarios. No obstante, podríamos definir N en diversas formas. Por ejemplo, el número de estudiantes que compran bicicletas o motonetas destinadas para transporte básico de hasta dos millas. Este número es aproximadamente un millón por año. Alternativamente, cuántos estudiantes deben recorrer distancias de entre una y tres millas, ya sea como viajeros frecuentes desde casa o que se desplacen entre clases u otras actividades escolares. Este número es aproximadamente dos millones. Suponga que muestreamos estudiantes en este segundo grupo y que obtenemos una fracción de 0.10 que definitivamente compraría y una fracción de 0.05 que probablemente compraría. (Nótese que estos números representan la fracción de entrevistados que indican intención de comprar dentro de un año.) Además, suponga que la compañía planea vender el patín a través de tiendas de bicicletas ubicadas cerca de los campus y las publicita en periódicos del campus para los 100 campus universitarios más grandes de Estados Unidos. Con base en este plan, la compañía espera que 30 por ciento de los estudiantes del mercado objetivo estén informados del producto y tengan cómodo acceso a un distribuidor. Si usamos un valor de 0.4 para $C_{\text{definitivamente}}$ y 0.2 para $C_{\text{probablemente}}$, entonces

$$P = 0.4 \times 0.10 + 0.2 \times 0.05 = 0.05$$

y

$$Q = 2\,000\,000 \times 0.30 \times 0.05 = 30\,000 \text{ unidades en el primer año}$$

Los resultados de los pronósticos basados en pruebas del concepto deben interpretarse con precaución. Algunas empresas, principalmente después de repetidas experiencias con productos similares, han alcanzado niveles impresionantes de precisión en sus pronósticos. Mientras que los pronósticos tienden a estar correlacionados con ventas reales, la mayor parte de los pronósticos individuales exhiben errores importantes. Algunos de los factores que pueden ocasionar que los patrones de compra reales difieran de las intenciones de compra expresadas en encuestas, incluyen:

- ***Importancia de la expresión verbal:*** Cuando los beneficios de un producto no son inmediatamente obvios, el entusiasmo de usuarios existentes puede ser un factor importante para generar demanda. En general este factor no se capta en pruebas del concepto.

- ***Fidelidad de la descripción del concepto:*** Si el producto real difiere de manera importante de la descripción del producto en la prueba de concepto, entonces es probable que las ventas reales difieran del pronóstico.
- ***Asignación de precio:*** Si el precio del producto se desvía de manera considerable del precio indicado en la encuesta, o de la expectativa de los entrevistados en la encuesta, entonces es probable que los pronósticos sean imprecisos.
- ***Nivel de promoción:*** El gasto en publicidad y otras formas de promoción puede aumentar la demanda de casi todos los productos. La influencia de la promoción es considerada sólo débilmente en el modelo de pronóstico por la vía del término información/disponibilidad y por el de los materiales empleados para presentar el (los) concepto(s).

Paso 7: Reflexionar sobre los resultados del proceso

El principal beneficio de la prueba de concepto es obtener retroalimentación de potenciales clientes reales. Los conocimientos cualitativos reunidos por medio de conversaciones con entrevistados, acerca de los conceptos propuestos, puede ser el resultado más importante de la prueba de concepto en especial en las primeras etapas del proceso de desarrollo. El equipo debería reflexionar sobre esta evidencia, así como sobre el resultado numérico de su pronóstico.

El equipo se beneficia por considerar el impacto de las tres variables clave del modelo de pronóstico: (1) el tamaño total del mercado, (2) la disponibilidad e información del producto y (3) la fracción de clientes que podrían comprar. Considerar mercados alternativos para el producto puede a veces aumentar el primer factor. El segundo factor puede crecer por medio de arreglos en la distribución y planes de promoción. El tercer factor puede ser aumentado por medio de cambios al diseño del producto (y quizá mediante publicidad), lo cual mejora su atractivo. Al considerar estos factores, un análisis de sensibilidad puede rendir conocimientos útiles y ayuda en la toma de decisiones. Por ejemplo, ¿cuál sería el efecto en ventas si el equipo pudiera asegurar una sociedad con un detallista y por lo tanto aumentar A en 20 por ciento?

Al meditar sobre los resultados de la prueba de concepto el equipo debe hacer dos preguntas clave de diagnóstico. Primero, ¿el concepto se comunicó en forma tal que sea posible obtener una respuesta del cliente que refleje su verdadera intención? Por ejemplo, si uno de los principales beneficios del concepto es su atractivo estético, ¿se presentó el concepto en una forma en que este aspecto del producto estuvo claro para los entrevistados? En segundo término, ¿el pronóstico resultante es consistente con porcentajes observados de ventas de productos similares? Por ejemplo, si sólo 1 000 patines GoPed de motor de gasolina (un producto de la competencia) se venden cada año actualmente a estudiantes universitarios, ¿por qué el equipo emPower piensa que venderá 30 veces más de su producto?

Por último, observamos que es probable que la experiencia con un nuevo producto se aplique en el futuro en productos similares. El equipo puede beneficiarse de su experiencia al documentar los resultados de su prueba de concepto y al tratar de conciliar estos resultados con observaciones subsiguientes de éxito del producto.

Resumen

Una prueba de concepto obtiene de potenciales clientes del mercado objetivo una respuesta directa de una descripción del concepto del producto. La prueba de concepto es distinta de la

selección del concepto en que está basada en captar datos directamente de potenciales clientes y se apoya en menor grado en juicios hechos por el equipo de desarrollo.

- La prueba de concepto puede verificar que las necesidades del cliente han quedado satisfechas de manera adecuada por el concepto del producto, evalúa el potencial de ventas de un concepto del producto y/o reúne información del cliente para refinar el concepto del producto.
- La prueba de concepto es inapropiada en varios puntos del proceso de desarrollo: cuando identifique la oportunidad del producto original, cuando seleccione cuál de dos o más conceptos debe seguirse, cuando evalúe el potencial de ventas de un concepto del producto y/o cuando decida si continuar un desarrollo y comercialización posteriores del producto.
- Recomendamos un método de siete pasos para probar conceptos del producto:

  1. Definir el propósito de la prueba de concepto.
  2. Seleccionar una población de encuesta.
  3. Elegir un formato de encuesta.
  4. Comunicar el concepto.
  5. Medir la respuesta del cliente.
  6. Interpretar los resultados.
  7. Reflexionar sobre los resultados y el proceso.

Referencias y bibliografía

Existen numerosos recursos actuales en internet **www.ulrich-eppinger.net**

Crawford y Di Benedetto examinan algunos modelos de pronóstico de artículos que se adquieren con frecuencia.

Crawford, C. Merle y C. Anthony Di Benedetto, *New Products Management*, 8a. ed., McGraw-Hill, Nueva York, 2005.

Jamieson y Bass revisan métodos para interpretar datos de intención de compra y examinar los factores que pueden explicar diferencias entre intención expresada y comportamiento.

Jamieson, Linda F. y Frank M. Bass, "Adjusting Stated Intention Measures to Predict Trial Purchase of New Products: A Comparison of Models and Methods," *Journal of Marketing Research*, vol. 26, agosto de 1989, pp. 336-345.

Cuando se pronostica el crecimiento de una nueva categoría de producto, puede ser útil usar modelos de difusión, que son analizados por Mahajan *et al.*

Mahajan, Vijay, Eitan Muller y Frank M. Bass, "Diffusion of New Products: Empirical Generalizations and Managerial Uses," *Marketing Science*, vol. 14, núm. 3, parte 2 de 2, 1995, pp. G79-G88.

Vriens y sus colegas informan sobre un estudio de las diferencias en resultados de prueba de conceptos usando descripciones verbales y descripciones gráficas de productos.

Vriens, Marco, Gerard H. Loosschilder, Edward Rosbergen y Dick R. Wittink, "Verbal versus Realistic Pictorial Representations in Conjoint Analysis with Design Attributes," *Journal of Product Innovation Management*, vol. 15, núm. 5, 1998, pp. 455-467.

Dahan y Srinivasan muestran que los resultados de la prueba de concepto usando internet son muy semejantes a los que usan modelos físicos de los conceptos del producto.

Dahan, Ely y V. Srinivasan, “The Predictive Power of Internet-Based Product Concept Testing Using Visual Depiction and Animation,” *Journal of Product Innovation Management*, vol. 17, núm. 2, marzo de 2000, pp. 99-109.

Urban *et al.*, informan sobre el uso de sistemas de multimedia para describir conceptos del producto y simular fuentes de información al consumidor.

Urban, Glen L., John R. Hauser, William J. Qualls, Bruce D. Weinberg, Jonathan D. Bohlmann y Roberta A. Chicos, “Information Acceleration: Validation and Lessons from the Field,” *Journal of Marketing Research*, vol. 34, febrero de 1997, pp. 143-153.

Ejercicios

1. ¿Cuáles son algunas de las diferentes formas en que usted podría comunicar un concepto para una nueva interfase de usuario para un sistema de audio de automóvil? ¿Cuáles son los puntos fuertes y débiles de cada método?

2. Estime aproximadamente *N* para los siguientes productos. Haga una lista de sus suposiciones.

a) Una almohada para viajeros en avión.

b) Una estación meteorológica electrónica (que vigila temperatura, presión, humedad, etc.) para hogares.

Preguntas de análisis

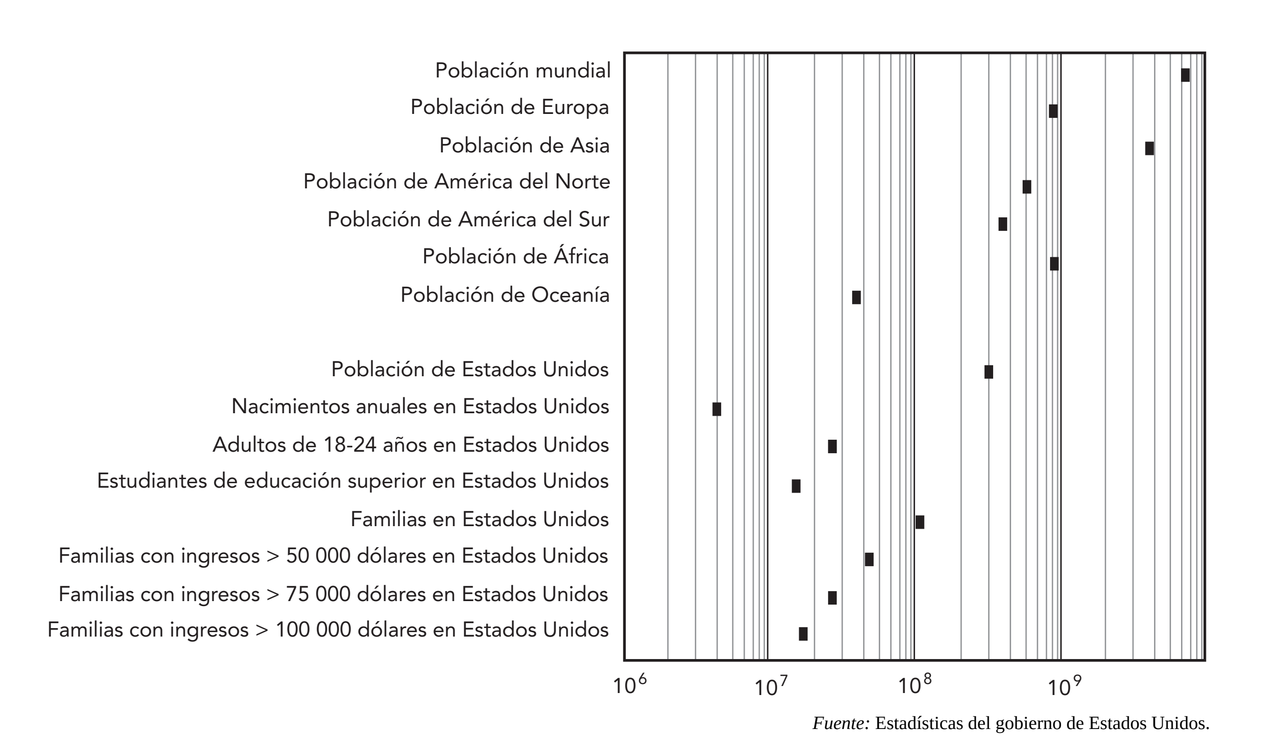
1. ¿Por qué piensa usted que los entrevistados suelen sobrestimar la probabilidad de que comprarán un producto?

2. ¿Cuándo podría ser desventajoso comunicar el concepto del producto a potenciales clientes que usen un prototipo que funciona? ¿Bajo qué circunstancias es mejor usar algún otro formato?

Apéndice

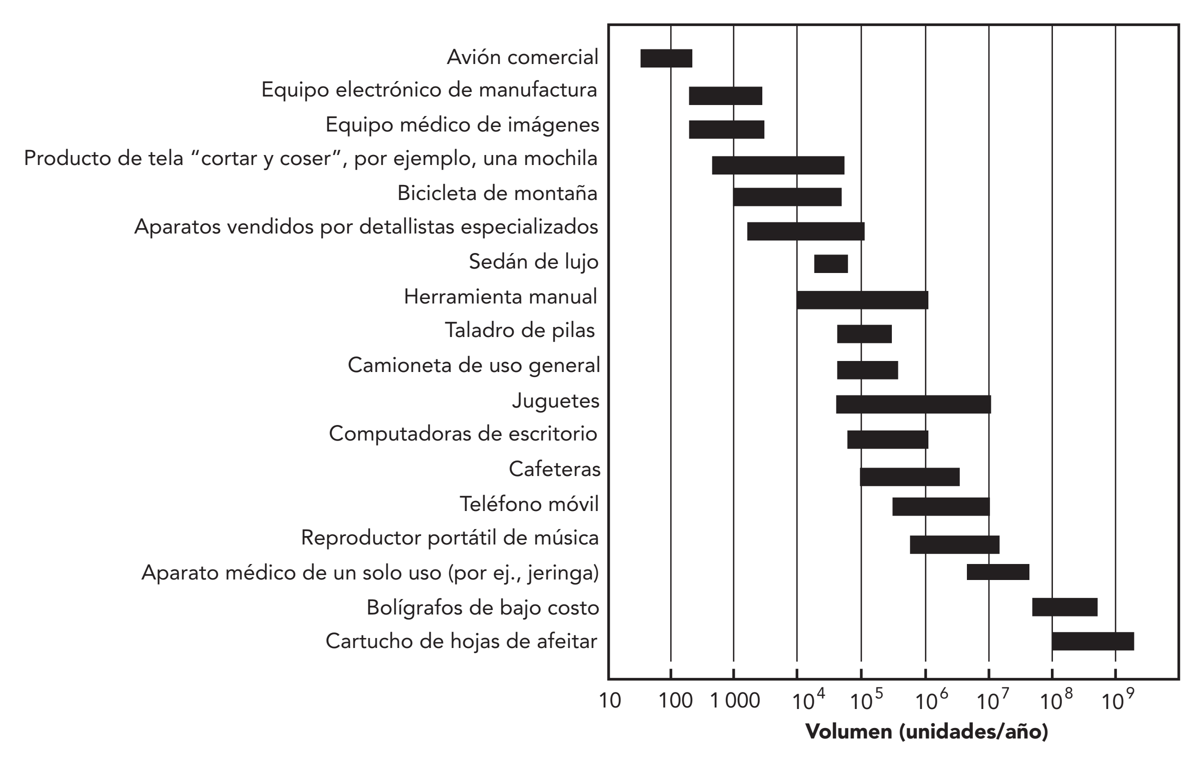
Estimación de tamaños de mercado

Las estimaciones aproximadas del tamaño de un mercado pueden con frecuencia hacerse por medio de comparaciones con productos similares o con tamaños conocidos de grupos demográficos. Las figuras 9-11 y 9-12 contienen algunas cifras que pueden ser útiles.



Fuente: Estadísticas del gobierno de Estados Unidos.

FIGURA 9-11 Población aproximada y datos demográficos hasta 2011.



Fuente: Varios.

FIGURA 9-12 Volumen aproximado de ventas anuales de diversos productos. Estas cifras representan el volumen de un modelo típico producido por un solo fabricante.

CAPÍTULO DIEZ

Arquitectura del producto



Cortesía de Hewlett-Packard Company

FIGURA 10-1 Tres impresoras Hewlett-Packard de la misma plataforma de producto: un modelo de oficina, un modelo para fotos y un modelo que incluye escáner.

El equipo de desarrollo de producto de la división de impresoras para el hogar de Hewlett-Packard estuvo considerando cómo responder a las presiones simultáneas para aumentar la variedad del producto y reducir costos de manufactura. Varios de los productos para impresoras de la división se ven en la figura 10-1. La impresión a inyección de tinta se había convertido en la tecnología dominante para impresiones a color en máquinas del hogar y oficinas pequeñas. Podía obtenerse una excelente calidad de impresión en blanco y negro, y una calidad casi fotográfica en color con una impresora que costaba menos de 200 dólares. Estimuladas por el valor creciente de las impresoras de inyección de tinta a color, las ventas conjuntas de los tres principales competidores fueron de millones de unidades por año. No obstante, a medida que el mercado maduraba, el éxito comercial requirió que las impresoras se ajustaran a necesidades específicas de segmentos de mercado más enfocados y que los costos de manufactura de estos productos se redujeran continuamente.

Al considerar sus siguientes pasos, los miembros del grupo formularon las siguientes preguntas:

- ¿Cómo repercutiría la arquitectura del producto en la capacidad del grupo para ofrecer variedades del producto?
- ¿Cuáles serían las implicaciones de costo de diferentes arquitecturas del producto?
- ¿Cuál sería la incidencia de la arquitectura del producto sobre la capacidad del grupo para completar el diseño antes de 12 meses?
- ¿Qué efecto podría tener la arquitectura del producto en la capacidad del grupo para manejar el proceso de desarrollo?

La arquitectura del producto es la asignación de los elementos funcionales de un producto a los elementos de construcción físicos de éste. Nos centramos en este capítulo en la tarea de establecer la arquitectura del producto. El propósito de la arquitectura del producto es definir los elementos físicos de construcción del producto en términos de lo que hacen aquéllos y de lo que son sus interfases para el resto del dispositivo. Las decisiones de arquitectura permiten que el diseño y prueba detallados de estos elementos de construcción sean asignados a equipos, personas y/o proveedores, de manera que el desarrollo de diferentes partes del producto se pueda realizar simultáneamente.

En las siguientes dos secciones de este capítulo definimos la arquitectura de un producto e ilustramos las profundas implicaciones de las decisiones de arquitectura usando, como ejemplos, la impresora Hewlett-Packard y otros productos. A continuación presentamos un método para establecer la arquitectura del producto y enfocarnos en el ejemplo de la impresora para ilustrarlo. (Nótese que los detalles del ejemplo de la impresora se han disfrazado de algún modo para preservar la información propietaria del producto de Hewlett-Packard.) Después de presentar el método examinamos las relaciones entre arquitectura del producto, variedad del producto y rendimiento de la cadena de suministro, y damos una guía para la planeación de la plataforma, actividad estrechamente relacionada con la arquitectura del producto.

¿Qué es arquitectura del producto?

Un producto puede considerarse en términos funcionales y físicos. Los *elementos funcionales* de un producto son las operaciones y transformaciones individuales que contribuyen a su rendimiento general. Para una impresora, algunos de los elementos funcionales son “almacenar

papel" y "comunicarse con computadora central". Los elementos funcionales por lo general se describen en forma esquemática antes de ser reducidos a tecnologías específicas, componentes o principios físicos de trabajo.

Los *elementos físicos* de un producto son las partes, componentes y subconjuntos que en última instancia ponen en práctica las funciones del producto. Los elementos físicos se definen más a medida que avanza el desarrollo. Algunos elementos físicos son dictados por el concepto del producto y otros se definen durante la fase del diseño de detalles. Por ejemplo, la DeskJet incluye un concepto de producto que comprende un dispositivo térmico de entrega de tinta, activado por un cartucho de impresión. Este elemento físico está totalmente unido al concepto del producto y fue en esencia una suposición del proyecto de desarrollo.

Los elementos físicos de un producto están organizados de una manera específica en varios elementos físicos de construcción más grandes, que se llaman *trozos*. Cada trozo está conformado entonces por un conjunto de componentes que ponen en práctica las funciones del producto. La *arquitectura* de un producto es el esquema por el cual los elementos funcionales del producto se acomodan en trozos físicos y por medio del cual éstos interactúan.

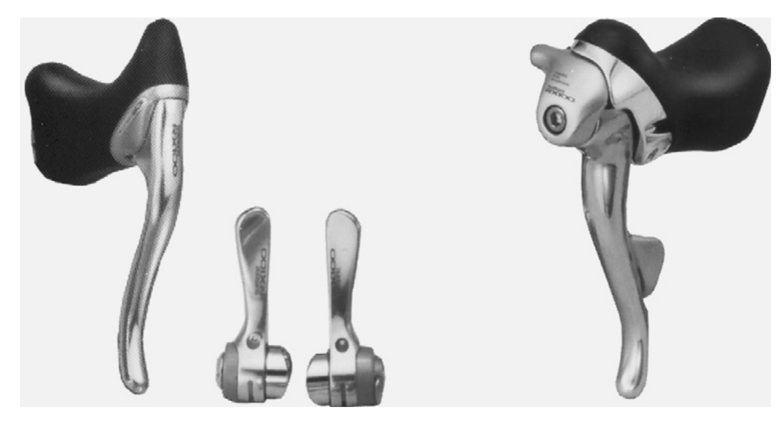
Quizá la característica más importante de la arquitectura de un producto sea su modularidad. Considere los dos diseños para controles de freno y cambios de bicicleta que se ven en la figura 10-2. En el diseño tradicional (izquierda), la función de control de cambios y la función de control del freno están alojadas en trozos separados, que de hecho están montados en lugares separados de la bicicleta; este diseño muestra una arquitectura modular. En el diseño de la derecha, las funciones de control de cambios y freno están alojadas en el mismo trozo; este diseño exhibe una arquitectura integral, en este caso motivado por razones aerodinámicas y ergonómicas.

Una ***arquitectura modular*** tiene las siguientes dos propiedades:

- Los trozos activan uno o pocos elementos funcionales en su totalidad.
- Las interacciones entre trozos están bien definidas y son generalmente fundamentales para las funciones primarias del producto.

La arquitectura más modular que puede haber es aquella en la que cada elemento funcional del producto se activa por exactamente un trozo físico y en el que hay pocas interacciones bien definidas entre los trozos. Esta arquitectura modular permite que un cambio de diseño se

FIGURA 10-2 Dos modelos de controles de freno y cambios de bicicleta. El producto de la izquierda ejemplifica una arquitectura modular; el de la derecha tiene una arquitectura más integral.



Cortesía de Shimano

haga a un trozo sin requerir cambios a otros trozos para que el producto funcione correctamente. Los trozos también se pueden diseñar de manera independiente unos de otros.

Lo opuesto de una arquitectura modular es una *arquitectura integral.* Una arquitectura integral muestra una o más de las siguientes propiedades:

- Los elementos funcionales del producto se activan usando más de un trozo.
- Un solo trozo acciona numerosos elementos funcionales.
- Las interacciones entre trozos están mal definidas y pueden ser incidentales respecto de las funciones primarias de los productos.

Es frecuente que un producto que incluya una arquitectura integral esté diseñado con el más alto rendimiento posible en mente. Es posible distribuir la activación de elementos funcionales entre muchos trozos. Los límites entre trozos pueden ser difíciles de identificar o quizá no existan. Muchos elementos funcionales pueden combinarse en algunos componentes físicos para optimizar ciertas dimensiones de rendimiento; no obstante, las modificaciones a cualquier componente o característica particulares pueden requerir de extenso rediseño del producto.

La modularidad es una propiedad relativa de la arquitectura de un producto. Es raro que los productos sean estrictamente modulares o integrales. Más bien, podemos decir que exhiben más o menos modularidad que un producto comparativo, como en el ejemplo de los controles de freno y cambios de la figura 10-2.

Tipos de modularidad

Las arquitecturas modulares comprenden tres tipos: de ranura, bus y seccional (Ulrich, 1995). Cada tipo incluye un mapa biunívoco de elementos funcionales a trozos e interfases bien definidas. Las diferencias entre estos tipos se encuentran en la forma en que están organizadas las interacciones entre trozos. La figura 10-3 ilustra las diferencias conceptuales entre estos tipos de arquitecturas.

- ***Arquitectura modular de ranura:*** Cada una de las interfases entre trozos en una arquitectura modular de ranura es de un tipo diferente con respecto de las otras, de modo que los diversos trozos del producto no se pueden intercambiar. El radio de un automóvil es un ejemplo de un trozo en una arquitectura modular de ranura. El radio ejecuta exactamente una función, pero su interfase es diferente de cualquiera de los otros componentes del vehículo (por ejemplo, radios y velocímetros tienen diferentes tipos de interfases para el tablero de instrumentos).
- ***Arquitectura modular de bus:*** En una arquitectura modular de bus, hay un *bus* común al que otros trozos se conectan por medio del mismo tipo de interfase. Un ejemplo de un trozo en una arquitectura modular de bus sería una tarjeta de expansión para una computadora personal. Productos no eléctricos también se pueden construir alrededor de una arquitectura modular de bus. La iluminación de vías, los sistemas de estantería con rieles y bastidores metálicos ajustables de techo para automóviles incluyen una arquitectura modular de bus.
- ***Arquitectura modular seccional:*** En una arquitectura modular seccional, todas las interfases son del mismo tipo, pero no hay un solo elemento al cual se unan todos los otros trozos. El conjunto se construye al conectar los trozos uno con otro por medio de interfases idénticas. Muchos sistemas de tuberías se adhieren a una arquitectura modular seccional, al igual que sofás seccionales, mamparas de oficina y algunos sistemas de computadoras.

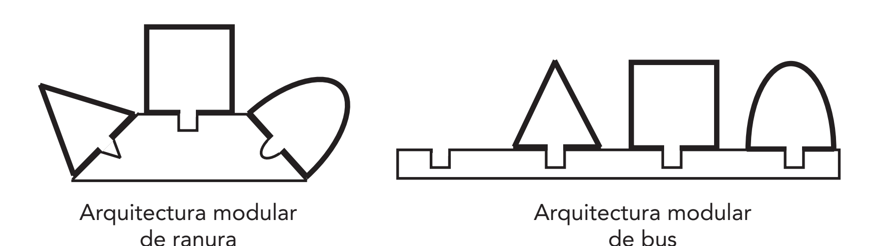


FIGURA 10-3 Tres tipos de arquitecturas modulares.

Las arquitecturas modulares de ranura son las más comunes porque, para la mayor parte de productos, cada trozo requiere una interfase diferente para acomodar interacciones únicas entre ese trozo y el resto del producto. Las arquitecturas modulares de bus y modulares seccionales son particularmente útiles para situaciones en las que el producto general debe variar mucho en configuración, pero cuyos trozos puedan interactuar en formas estándar con el resto del producto. Estas situaciones pueden aparecer cuando todos los trozos puedan usar el mismo tipo de energía, conexión de fluido, aditamento estructural o intercambios de señales.

¿Cuándo se define la arquitectura del producto?

La arquitectura de un producto surge durante el desarrollo del concepto. Esto ocurre de manera informal, en los bosquejos, diagramas funcionales y primeros prototipos de la fase de desarrollo del concepto. De ordinario, la madurez de la tecnología básica del producto determina si la arquitectura del producto se define por completo durante el desarrollo del concepto o durante el diseño a nivel del sistema. Cuando el nuevo producto es una mejora incremental del concepto de producto ya existente, entonces la arquitectura del producto se define dentro del concepto del producto. Esto es por dos razones. Primero, las tecnologías básicas y principios de trabajo del producto se definen de antemano, y por lo tanto los trabajos de diseño conceptual se enfocan generalmente en mejores formas para incluir el concepto dado. Segundo, a medida que madura la categoría de un producto, las consideraciones de la cadena de suministro (es decir, producción y distribución) y los problemas de la variedad del producto empiezan a hacerse más notorios. La arquitectura del producto es una de las decisiones de desarrollo que más repercute en la capacidad de una empresa para entregar con eficiencia una alta variedad de productos. La arquitectura, por lo tanto, se convierte en un elemento central del concepto del producto. No obstante, cuando el nuevo producto es el primero de su clase, el desarrollo del concepto está interesado generalmente en los principios básicos de trabajo y tecnología en los que estará basado el producto. En este caso, la arquitectura del producto es con frecuencia el foco inicial de la fase del diseño de desarrollo a nivel del sistema.

Implicaciones de la arquitectura

Las decisiones acerca de cómo dividir el producto en trozos y cuánta modularidad imponer en la arquitectura están estrechamente relacionadas con varios problemas de importancia para toda la empresa: cambio de producto, variedad de producto, estandarización de componentes, rendimiento del producto, facilidad de manufactura y administración del desarrollo del producto.

La arquitectura del producto, por lo tanto, está estrechamente unida a decisiones acerca de la estrategia de mercadotecnia, capacidad de manufactura y gestión del desarrollo del producto.

Cambio de producto

Los trozos son los elementos físicos de construcción del producto, pero la arquitectura del producto define la forma en que estos bloques se relacionan con la función del producto. La arquitectura, por lo tanto, define la forma en que el producto puede cambiarse. Los trozos modulares permiten hacer cambios a pocos elementos funcionales aislados del producto sin afectar necesariamente el diseño de los otros trozos. El cambio de un trozo integral puede influir en muchos elementos funcionales y requiere cambios a varios trozos relacionados.

Algunos de los motivos para cambio de producto son:

- ***Actualizar:*** A medida que evolucionan la capacidad tecnológica o las necesidades del usuario, algunos productos pueden dar acomodo a esta evolución por medio de actualizaciones. Ejemplos de ellas incluyen el cambio de tarjeta procesadora en una impresora computarizada o el cambio de una bomba en un sistema de enfriamiento por un modelo más potente.
- ***Accesorios:*** Muchos productos son vendidos por un fabricante como unidad básica a la que el usuario agrega, según sea necesario, componentes que casi siempre son producidos por terceros. Este tipo de cambio es común en la industria de computadoras personales (por ejemplo, los dispositivos de almacenamiento masivo de terceros pueden agregarse a una computadora básica).
- ***Adaptación:*** Algunos productos de larga duración pueden usarse en ambientes diferentes, lo cual requiere adaptación. Por ejemplo, pudiera ser necesario convertir máquinas herramienta de 220 a 110 voltios. Algunos motores de gasolina pueden convertirse en motores de gas propano.
- ***Desgaste:*** Los elementos físicos de un producto pueden deteriorarse con el uso, haciendo necesario el cambio de componentes desgastados para prolongar la vida útil del producto. Por ejemplo, muchas máquinas de afeitar permiten el cambio de hojas; también pueden suplirse llantas de vehículos, rodamientos y motores de muchos aparatos para el hogar.
- ***Consumo:*** Algunos productos consumen materiales que luego se pueden reabastecer fácilmente. Por ejemplo, es frecuente que copiadoras e impresoras consuman cartuchos de impresión; las cámaras, rollos de película; las pistolas de pegamento, tubos de pegamento; los sopletes, cartuchos de gas; y los relojes, baterías, todo lo cual es sustituible.
- ***Flexibilidad de uso:*** Algunos productos pueden ser configurados por el usuario para dar una capacidad diferente. Por ejemplo, muchas cámaras pueden usarse con diversos lentes y flashes, algunos veleros se pueden usar con varias opciones de velas y las cañas de pescar pueden adaptarse con diversas configuraciones de caña y carrete.
- ***Reutilizar:*** Al crear productos subsiguientes, la empresa puede cambiar sólo algunos elementos funcionales al mismo tiempo que mantiene intacto el resto del producto. Por ejemplo, los fabricantes de productos electrónicos de consumo pueden actualizar una línea de productos al cambiar sólo la interfase y caja de usuario mientras que mantiene las piezas funcionales interiores del modelo anterior.

En cada uno de estos casos, una arquitectura modular permite a la empresa minimizar los cambios *físicos* necesarios para lograr un cambio *funcional*.

Variedad de productos

La *variedad* se refiere al rango de los modelos del producto que la empresa puede producir dentro de un periodo particular en respuesta a la demanda del mercado. Los productos construidos alrededor de arquitecturas modulares del producto pueden variar más fácilmente sin agregar mucha complejidad al sistema de manufactura. Por ejemplo, Swatch produce cientos de modelos de relojes, pero puede lograr esta variedad a un costo relativamente bajo al ensamblar las variantes de diferentes combinaciones de trozos estándar (figura 10-4). Un gran número de manecillas, carátulas y extensibles se pueden combinar con una selección relativamente pequeña de mecanismos y cajas para crear combinaciones en apariencia interminables.

Estandarización de componentes

La estandarización de componentes es el uso del mismo componente o trozo en múltiples productos. Si un trozo activa sólo uno o pocos elementos funcionales de amplio uso, entonces se puede estandarizar y usar en productos diferentes. Esa estandarización permite a la empresa manufacturar el trozo en volúmenes más altos, lo cual no sería posible de otra manera. Esto a su vez puede llevar a menores costos y mayor calidad. Por ejemplo, el mecanismo de relojería que se muestra en la figura 10-4 es idéntico para muchos modelos Swatch. La estandarización de componentes también puede ocurrir fuera de la empresa cuando los productos de varios fabricantes usan un componente del mismo proveedor. Por ejemplo, la batería del reloj que se muestra en la figura 10-4 está hecha por un proveedor y estandarizada en líneas de productos de varios fabricantes.

Rendimiento del producto

Definimos el *rendimiento del producto* por lo bien que se realizan sus funciones proyectadas. Las características típicas del rendimiento de un producto son velocidad, eficiencia, vida útil, precisión y ruido. Una arquitectura integral facilita la optimización de las características holísticas de rendimiento y de las que se activan por el tamaño, forma y masa de un producto. Esas características incluyen aceleración, consumo de energía, resistencia aerodinámica al avance, ruido y estética. Considere, por ejemplo, una motocicleta. La arquitectura de una motocicleta convencional asigna el elemento funcional estructural y de soporte a un trozo de bastidor y el elemento funcional de conversión de potencia a un trozo de transmisión. La figura 10-5 muestra una fotografía de la BMW R1100RS. La arquitectura de esta motocicleta asigna la función estructural y de soporte y la función de conversión de potencia al trozo de transmisión. Esta arquitectura integral permite a diseñadores de la motocicleta explotar las propiedades estructurales secundarias de la caja de transmisión para eliminar el tamaño y masa extras de un bastidor. La práctica de llevar a cabo funciones múltiples usando un solo elemento físico se denomina *función compartida*. Una arquitectura integral permite que la redundancia sea eliminada por medio de la función compartida (como en el caso de la motocicleta) y permite el ensamble geométrico de componentes para minimizar el volumen que ocupe un producto. Esa función compartida y ensamble también permite minimizar el uso de materiales, redu-

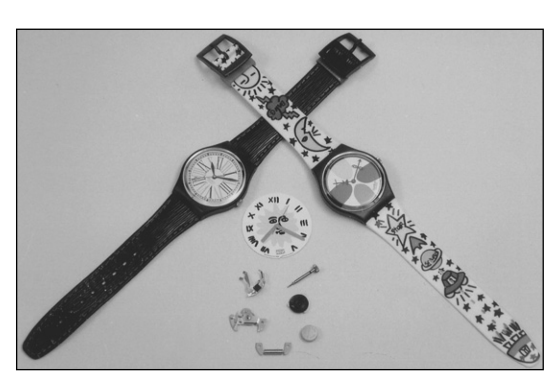
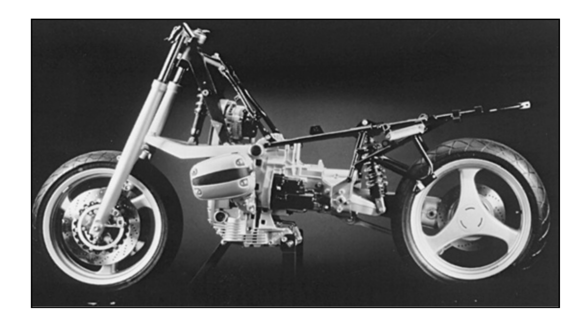
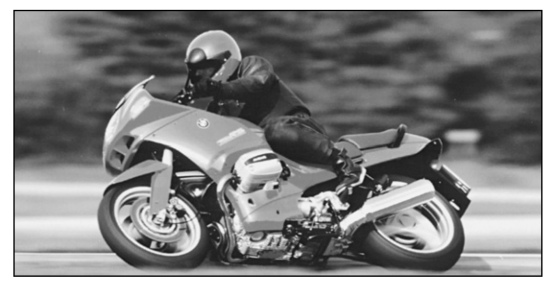


Foto de Stuart Cohen

FIGURA 10-4 Swatch emplea una arquitectura modular para hacer posible una manufactura de gran variedad.

ciendo potencialmente el costo de manufactura del producto.





Cortesía de BMW Motorcycle Group

FIGURA 10-5 Motocicleta BMW R1100RS. Este producto muestra una funcionalidad compartida y una arquitectura integral con el diseño del trozo de la transmisión.

Capacidad de manufactura

Además de las implicaciones de costo de variedad de productos y estandarización de componentes descritas líneas antes, la arquitectura del producto también afecta directamente la capacidad del grupo para diseñar los trozos que se producirán a bajo costo. Una estrategia importante de diseño para manufactura (DFM) comprende la minimización del número de piezas en un producto a través de la *integración de componentes.* No obstante, para mantener una determinada arquitectura, la integración de componentes físicos sólo puede ser considerada fácilmente dentro de cada uno de los trozos. La integración de componentes en varios trozos es difícil, si no imposible, y alteraría la arquitectura en una forma impresionante. Puesto que la arquitectura del producto encierra en esta forma las subsiguientes decisiones del diseño de detalles, el equipo debe considerar las implicaciones de manufactura de la arquitectura. Por esta razón, el diseño para manufactura se inicia durante la fase de diseño a nivel del sistema, cuando la disposición de los trozos se está planeando. Para detalles acerca de la ejecución del diseño para manufactura, vea el capítulo 13, Diseño para manufactura.

Gestión del desarrollo del producto

La responsabilidad para el diseño de detalles de cada trozo suele asignarse a un grupo relativamente pequeño dentro de la empresa o a un proveedor externo. Los trozos se asignan a una sola persona o grupo porque su diseño requiere de cuidadosa resolución de interacciones, geometría y otros aspectos, entre componentes dentro del trozo. Con una arquitectura modular, el grupo asignado a diseñar un trozo trabaja con interacciones funcionales conocidas y relativamente limitadas con otros trozos. Si un elemento funcional se activa por dos o más trozos, como ocurre en algunas arquitecturas integrales, el diseño de detalles requerirá de una estrecha coordinación entre grupos diferentes. Es probable que esta coordinación esté considerablemente más involucrada y sea más difícil que la coordinación limitada necesaria entre grupos que diseñen trozos diferentes en un diseño modular. Por esta razón, es frecuente que los grupos que se apoyan en proveedores externos o en un grupo geográficamente disperso opten por una arquitectura modular en la que las responsabilidades de desarrollo se puedan dividir de acuerdo con los límites del trozo. Otra posibilidad es que varios elementos funcionales se asignen al mismo trozo. En este caso, el trabajo del grupo asignado al trozo abarca gran cantidad de coordinación interna en un grupo más grande.

Las arquitecturas modulares e integrales también demandan diferentes estilos de administración del proyecto. Los métodos modulares requieren de una planeación muy cuidadosa durante la fase de diseño a nivel del sistema, pero el diseño de detalles está relacionado con asegurar que los equipos asignados a trozos satisfagan los requisitos de rendimiento, costo y

calendario para sus trozos. Una arquitectura integral puede requerir menos planeación y especificaciones durante el diseño a nivel del sistema, aunque necesita mucha más integración, resolución de conflictos y coordinación durante la fase del diseño de detalles.

Establecimiento de la arquitectura

Debido a que la arquitectura del producto tendrá profundas implicaciones para subsiguientes actividades de desarrollo del producto, así como para la manufactura y mercadotecnia del producto terminado, debería ser establecida como una tarea interfuncional por el equipo de desarrollo. El resultado final de esta actividad es una disposición geométrica aproximada del producto, descripciones de los trozos principales y documentación de las interacciones clave entre éstos. Recomendamos un método de cuatro pasos para estructurar el proceso de decisión, que se ilustra usando el ejemplo de la impresora DeskJet. A saber:

1. Crear un esquema del producto.
2. Agrupar los elementos del esquema.
3. Crear una disposición geométrica aproximada.
4. Identificar las interacciones fundamentales e incidentales.

Paso 1: Crear un esquema del producto

Un *esquema* es un diagrama que representa la idea que tiene el equipo de los elementos constitutivos del producto. En la figura 10-6 se ilustra un esquema para la DeskJet. Al final de la fase de desarrollo del concepto, algunos de los elementos del esquema son conceptos físicos; por ejemplo, la trayectoria de entrada/salida de papel. Algunos de los elementos corresponden a componentes críticos; por ejemplo, el cartucho de impresión que el grupo espera usar. No obstante, algunos de los elementos continúan descritos sólo funcionalmente. Éstos son los elementos funcionales del producto que todavía no han sido reducidos a conceptos o componentes físicos. Por ejemplo, "desplegar estatus" es un elemento funcional necesario para la impresora, aunque el método particular de la pantalla todavía no se ha decidido. Estos elementos que han sido reducidos a conceptos o componentes físicos suelen ser de importancia esencial para el concepto básico del producto que el equipo ha generado y seleccionado. Aquellos elementos que continúan sin ser especificados en términos físicos son por lo general funciones auxiliares del producto.

El esquema debe reflejar la mejor idea del grupo acerca del estado del producto, pero no tiene que contener todos los detalles imaginables; por ejemplo, "detectar condición de papel agotado" o "blindar emisiones de radiofrecuencia". Éstos y otros elementos funcionales más detallados se posponen para un paso posterior. Una buena regla práctica es buscar que haya menos de 30 elementos en el esquema, a fin de establecer la arquitectura del producto. Si éste es un sistema complejo, que comprende cientos de elementos funcionales, entonces es útil omitir algunos de los menores y agrupar algunos otros en funciones de nivel más alto para descomponerlos posteriormente. (Vea Definición de sistemas secundarios, más adelante en este capítulo.)

El esquema creado no será único. Las selecciones específicas hechas al crear el esquema, por ejemplo la de elementos funcionales y su arreglo, definen parcialmente la arquitectura del producto. Por ejemplo, el elemento funcional "controlar impresora" está representado como un solo elemento centralizado en la figura 10-6. Una alternativa sería distribuir el control de

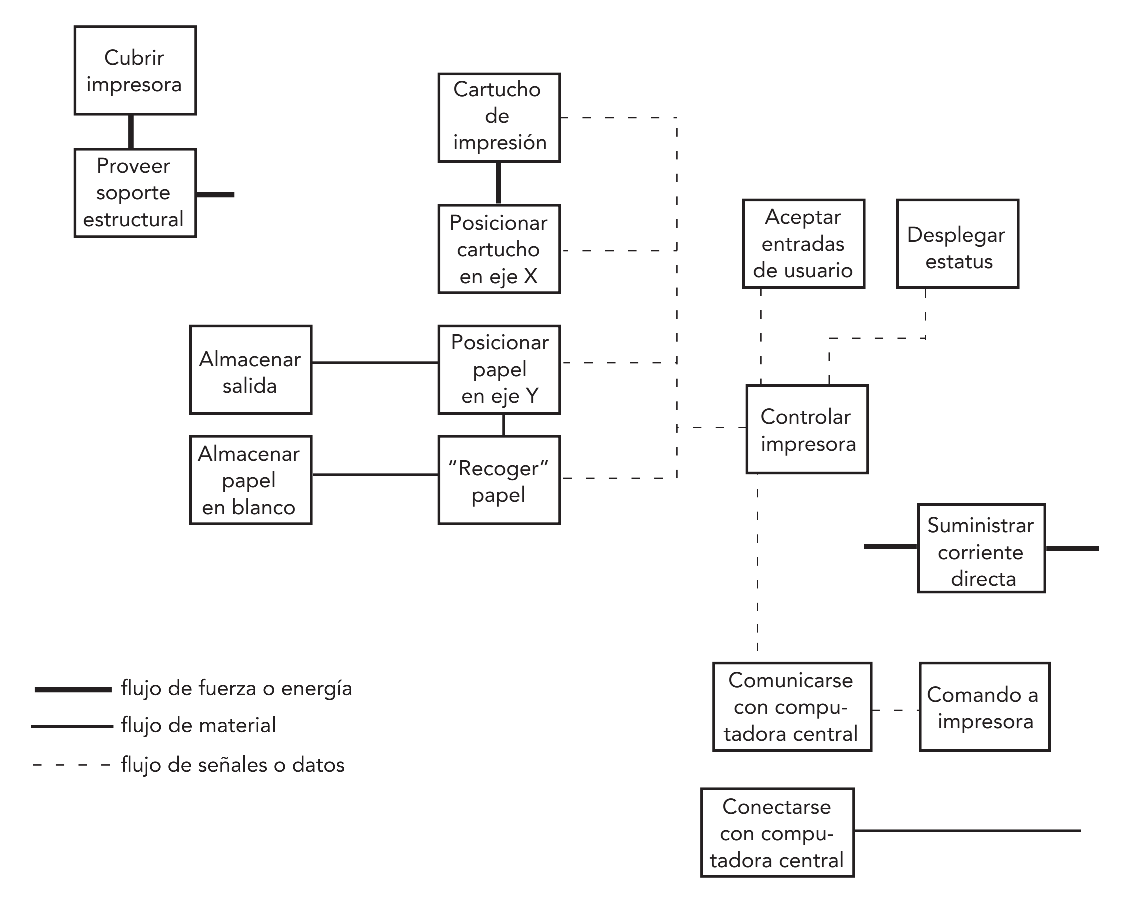


FIGURA 10-6 Esquema de la impresora DeskJet. Nótese la presencia de elementos funcionales (por ejemplo, "Almacenar salida") y elementos físicos (por ejemplo, "cartucho de impresión"). Para mayor claridad, no se muestran todas las conexiones entre elementos.

cada uno de los otros elementos del producto en el sistema y que la computadora central haga la coordinación. Debido a que por lo general hay una vaguedad considerable en el esquema, el equipo debe generar varias alternativas y seleccionar un método que facilite la consideración de varias opciones de arquitectura.

Paso 2: Agrupar los elementos del esquema

El desafío del paso 2 es asignar cada uno de los elementos del esquema a un trozo. Una posible asignación de elementos a trozos se ve en la figura 10-7, donde se usan nueve trozos. Aun cuando éste fue el método aproximado tomado por el equipo DeskJet, hay otras alternativas viables. En un extremo, cada elemento podría ser asignado a su propio trozo, dando 15 trozos. En el otro extremo, el equipo podría decidir que el producto tuviera sólo un trozo principal y luego tratar de integrar físicamente todos los elementos del producto. De hecho, la consideración de todos los posibles agrupamientos de elementos daría miles de

opciones. Un procedimiento para manejar la complejidad de las alternativas es empezar con la suposición de que cada elemento del esquema se asignará a su propio trozo y luego, sucesivamente, agrupar elementos donde sea ventajoso. Para determinar cuándo hay ventajas para agrupar, considere estos factores que reflejan las implicaciones discutidas en la sección previa:

- ***Integración geométrica y precisión:*** La asignación de elementos al mismo trozo permite que una sola persona o grupo controle las relaciones físicas entre los elementos. Los elementos que requieran ubicación precisa o integración geométrica cercana pueden a veces ser diseñados mejor si son parte del mismo trozo. Para la impresora DeskJet, esto sugeriría agrupar los elementos asociados con colocar el cartucho en el eje X y posicionar el papel en el eje Y.

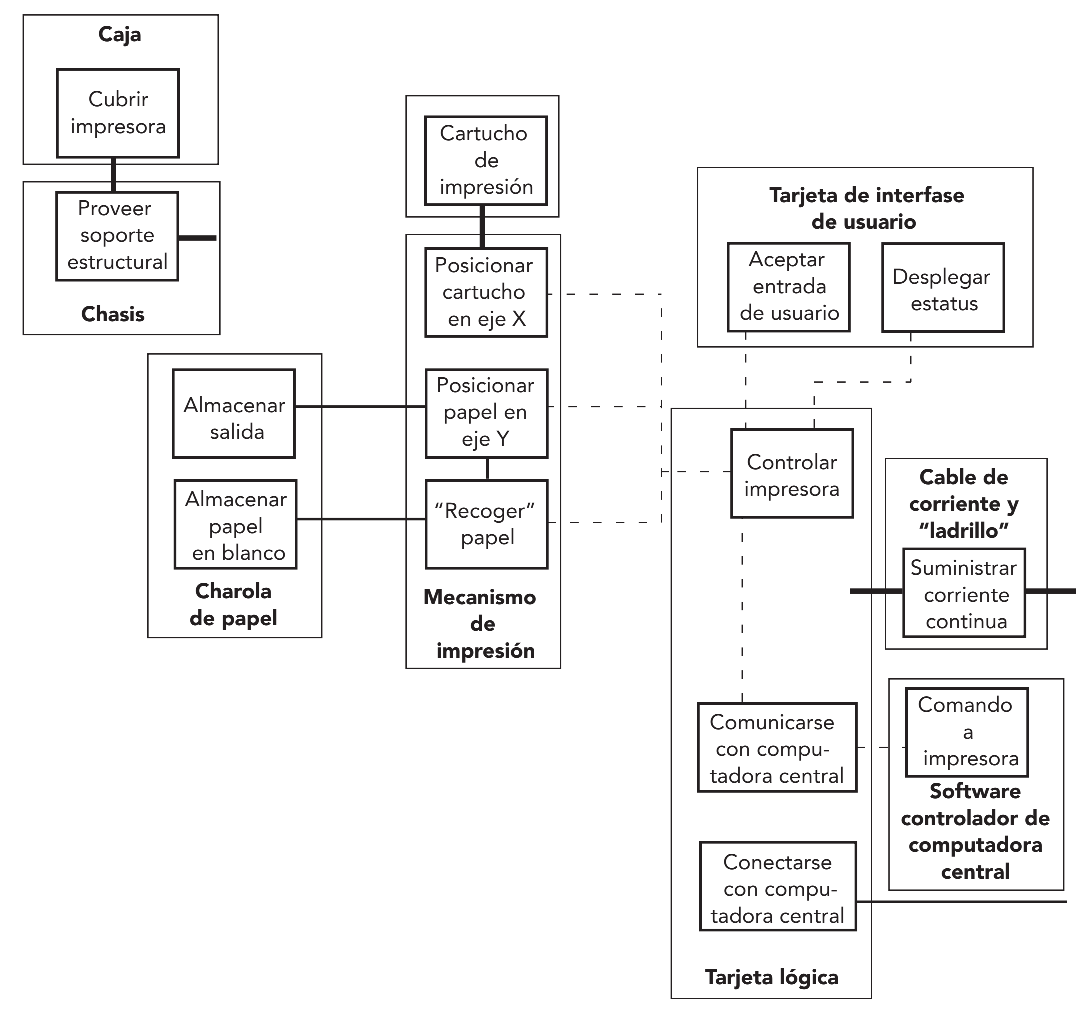
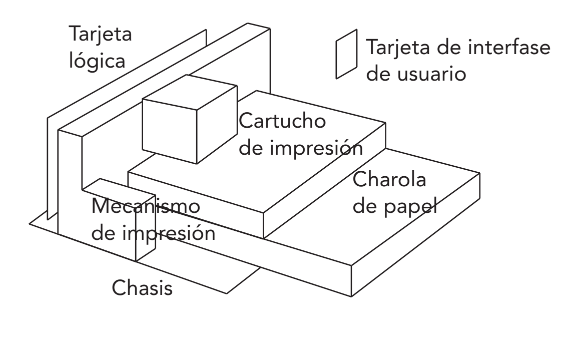


FIGURA 10-7 Agrupación de elementos en trozos. Nueve trozos conforman esta arquitectura propuesta para la impresora DeskJet.

- ***Función compartida:*** Cuando un solo componente físico puede implementar varios elementos funcionales del producto, estos elementos funcionales se agrupan mejor. Ésta es la situación ejemplificada por la transmisión de la motocicleta BMW (figura 10-5). Para la impresora DeskJet, el equipo pensó que la pantalla de estatus y controles del usuario podrían incorporarse en el mismo componente y agruparon estos dos elementos.
- ***Capacidad de los vendedores:*** Un vendedor confiable puede tener experiencia específica relacionada con un proyecto y, para aprovecharla mejor, un equipo puede seleccionar los elementos acerca de los cuales el vendedor tenga experiencia en un trozo. En el caso de la impresora DeskJet, un equipo interno hizo la mayor parte del trabajo de diseño de ingeniería, por lo que ésta no fue una consideración de importancia.
- ***Similitud de tecnología de diseño o producción:*** Cuando sea probable que dos o más elementos funcionales se activan usando la misma tecnología de diseño y/o de producción, entonces incorporar estos elementos en el mismo trozo, puede lograr que el diseño y/o producción sean más económicos. Una estrategia común, por ejemplo, es combinar todas las funciones que sea probable que comprendan electrónica en el mismo trozo. Esto permite la posibilidad de instalar todas estas funciones en una sola tarjeta de circuito.
- ***Localización del cambio:*** Cuando un equipo anticipa muchos cambios en algún elemento, es lógico aislar ese elemento en su propio trozo modular para que los cambios necesarios al elemento se puedan realizar sin alterar ninguno de los demás trozos. El grupo de Hewlett-Packard anticipó cambiar el aspecto físico del producto en su ciclo de vida útil y por ello escogió aislar el elemento de caja en su propio trozo.
- ***Agrupar para variedad:*** Los elementos deben agruparse para hacer posible que la empresa modifique el producto de modo que tenga valor para sus clientes. La impresora debería venderse en todo el mundo, en regiones con diferentes estándares de energía eléctrica. En consecuencia, el grupo creó un trozo separado con el elemento asociado con el suministro de corriente continua.
- ***Permitir estandarización:*** Si un conjunto de elementos va a ser útil en otros productos, aquellos deben agruparse en un solo trozo; esto permite que los elementos físicos del trozo sean producidos en cantidades mayores. La estandarización interna de Hewlett-Packard fue un motivo clave para usar un cartucho de impresión existente y, por lo tanto, este elemento se preserva como su propio trozo.
- ***Portabilidad de las interfases:*** Algunas interacciones se transmiten fácilmente a grandes distancias. Por ejemplo, las señales eléctricas son mucho más transportables que las fuerzas y movimientos mecánicos. En consecuencia, los elementos con interacciones electrónicas pueden separarse fácilmente de otros. Esto también es cierto, pero en menor medida, para conexiones de fluidos. La flexibilidad de interacciones eléctricas permitió al grupo de Hewlett-Packard agrupar las funciones de control y comunicaciones en el mismo trozo. Por el contrario, los elementos relacionados al manejo de papel están mucho más encerradas geométricamente por sus necesarias interacciones mecánicas.

Paso 3: Crear una disposición geométrica aproximada

Es posible crear una disposición geométrica en dos o tres dimensiones, usando dibujos, modelos de computadora o modelos físicos (de cartón o espuma, por ejemplo). La figura 10-8 muestra una disposición geométrica de la impresora DeskJet, con la posición de los trozos principales. La creación de una disposición geométrica obliga al equipo a considerar si las interfases geométricas entre los trozos son factibles y a resolver las relaciones dimensionales básicas



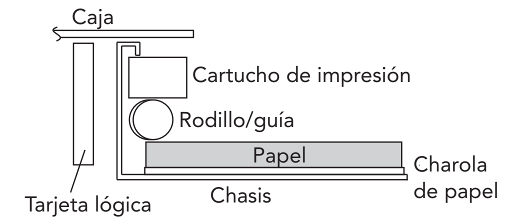


FIGURA 10-8 Disposición geométrica de la impresora.

entre los trozos. Al considerar una sección transversal de la impresora, el grupo se dio cuenta de que había una concesión fundamental entre cuánto papel podía almacenarse en la charola de papel y la altura de la máquina. En este paso, como en el previo, el equipo se beneficia de generar varias disposiciones alternas y seleccionar la mejor. Los criterios de decisión de la disposición están estrechamente relacionados con los problemas de agrupación del paso 2. En algunos casos, el equipo puede descubrir que la agrupación deducida en el paso 2 no es geométricamente factible y, por lo tanto, algunos de los elementos tendrían que reasignarse a otros trozos. La creación de una disposición aproximada debe estar coordinada con los diseñadores industriales del grupo, sobre todo en casos donde problemas de estética e interfase humana del producto son importantes y están bastante relacionados con el arreglo geométrico de los trozos.

Paso 4: Identificar interacciones fundamentales e incidentales

Es muy probable que una persona o grupo diferente se asigne para diseñar cada trozo. Debido a que los trozos interactúan unos con otros en formas planeadas y fortuitas, estos grupos diferentes tendrán que coordinar sus actividades e intercambiar información. Para manejar mejor este proceso de coordinación, el equipo debe identificar las interacciones conocidas entre trozos durante la fase de diseño a nivel del sistema.

Hay dos categorías de interacciones entre trozos. Primero, las *interacciones fundamentales* son las que corresponden a las líneas del esquema que conectan los trozos unos con otros. Por ejemplo, una hoja de papel pasa de la charola del papel al mecanismo de impresión. Esta interacción es planeada y debe estar bien entendida, incluso desde el primer esquema, dado que es fundamental para la operación del sistema. Segundo, las *interacciones incidentales* son las que resultan debido a la activación física particular de elementos funcionales o debido al arreglo geométrico de los *trozos*. Por ejemplo, las vibraciones inducidas por los activadores de la charola de papel podrían interferir con la ubicación precisa del cartucho de impresión en el eje X.

Si bien las interacciones fundamentales están explícitamente representadas por el esquema que muestra el agrupamiento de elementos en trozos, las interacciones incidentales deben estar documentadas de otro modo. Para un pequeño número de trozos que interactúan (menos de 10), un *diagrama de interacción* es una forma cómoda de representar interacciones incidentales. La figura 10-9 muestra un diagrama de posible interacción para la impresora DeskJet representando las interacciones incidentales conocidas. Para sistemas más grandes este tipo de diagramas se hace confuso, y una *matriz de interacción* es útil en su lugar y puede usarse para exhibir interacciones fundamentales e incidentales. Vea en la obra de Eppinger (1997) un ejemplo del uso de esta matriz, que también se utiliza para agrupar los elementos funcionales en trozos basados en cuantificación de sus interacciones.

El diagrama de interacción de la figura 10-9 sugiere que la vibración y distorsión térmica son interacciones incidentales entre los trozos que crean calor y donde hay movimientos de

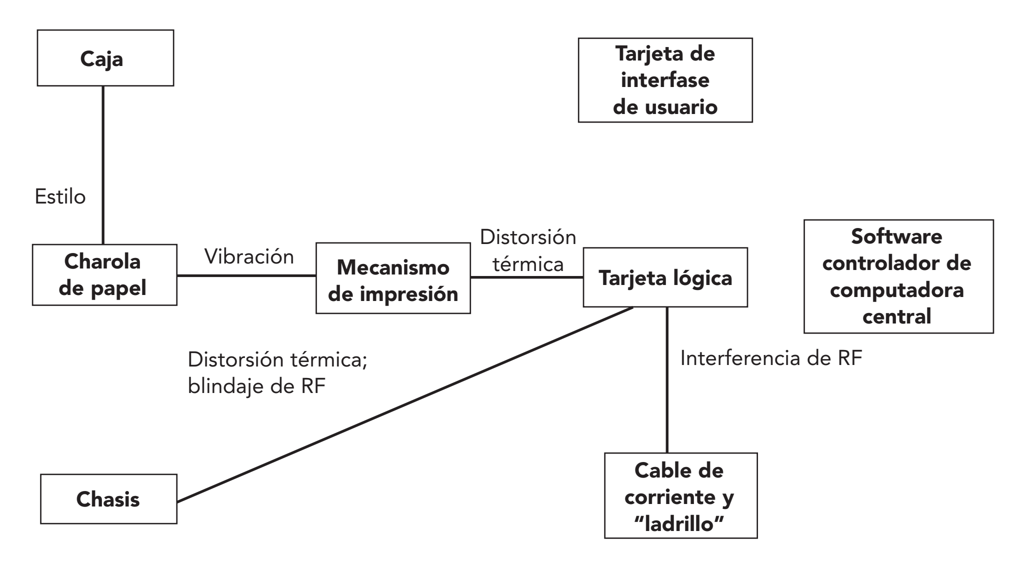


FIGURA 10-9 Diagrama de interacción incidental.

posicionamiento. Estas interacciones representan desafíos en el desarrollo del sistema, lo cual requiere trabajo de coordinación enfocada dentro del grupo.

Podemos usar el mapeo de las interacciones entre trozos para obtener una guía para estructurar y manejar las actividades de desarrollo restantes. Los trozos con interacciones importantes deben ser diseñados por grupos con fuerte comunicación y coordinación entre ellos. Por el contrario, los trozos con poca interacción pueden ser diseñados por grupos con menos coordinación. Eppinger (1997) describe un método basado en matrices para determinar esas necesidades de coordinación a nivel del sistema en proyectos grandes.

También es posible, por medio de una cuidadosa coordinación anticipada, desarrollar, en una forma totalmente independiente, dos trozos que interactúen entre sí. Esto se facilita cuando las interacciones entre los dos trozos se pueden reducir antes a una interfase completamente especificada que será activada por ambos trozos. Es relativamente claro especificar interfases para manejar las interacciones fundamentales, mientras que puede ser difícil hacerlo para interacciones incidentales.

El conocimiento de las interacciones incidentales (y a veces también de las fundamentales) se desarrolla como un avance de diseño de detalles y a nivel del sistema. El esquema y el diagrama de interacción o matriz se pueden usar para documentar esta información a medida que evolucione. La red de interacciones entre subsistemas, módulos y componentes a veces recibe el nombre de *arquitectura del sistema.*

Diferenciación postergada

Cuando una empresa ofrece variantes de un producto, la arquitectura del producto es un determinante clave del rendimiento de la *cadena de suministro*, es decir, la secuencia de actividades de producción y distribución que enlaza materias primas y componentes con productos terminados en las manos de los clientes.

Imagine tres versiones de la impresora, cada una adaptada a un estándar diferente de energía eléctrica y en tres regiones geográficas distintas. Considere en qué punto, a lo largo de la cadena de suministro, el producto está definido de manera única como una de estas tres variantes. Suponga que la cadena de suministro está formada por tres actividades básicas: ensamble, transporte y empaque. La figura 10-10 ilustra la forma en que el número de variantes del producto evoluciona cuando éste se mueve por la cadena de suministro. En la situación A, las tres versiones de la impresora están definidas durante el ensamble, luego transportadas y, por último, empacadas. En la situación B, la actividad de ensamble está dividida en dos etapas, la mayor parte del producto se ensambla en la primera etapa, luego se transporta, se termina el ensamble y se empaca el producto. En la situación B, los componentes asociados con conversión de energía se ensamblan después del transporte y, por lo tanto, el producto no está diferenciado sino hasta cerca del final de la cadena de suministro.

Posponer la diferenciación de un producto hasta tarde en la cadena de suministro se llama *diferenciación postergada* o *postergación* y puede ofrecer reducciones considerables en los costos de operación de la cadena de suministro, sobre todo por reducciones en necesidades de inventario. Para casi todos los productos y en particular para los novedosos, la demanda para cada versión de un producto es impredecible. Esto es, hay un componente de demanda que varía al azar de un periodo al siguiente. Ofrecer de modo consistente alta disponibilidad de productos, en presencia de esta incertidumbre de demanda, requiere que el inventario se localice cerca del final de la cadena de suministro. (Para entender por qué esto es así, imagine un restaurante McDonald's que trata de responder a fluctuaciones minuto a minuto en demanda de papas a la francesa si pela, corta y fríe papas sólo después de colocado un pedido. En lugar de eso, mantiene un inventario de papas a la francesa ya cocidas que se pueden meter en un paquete y entregarse.) Para impresoras, el transporte en barco entre lugares de producción y distribución puede requerir varias semanas. Entonces, para responder a fluctuaciones en demanda deben tenerse sustanciales inventarios después del transporte. El volumen del inventario requerido para un nivel objetivo determinado de disponibilidad es una función de la magnitud de la variabilidad en demanda.

La postergación hace posible reducciones importantes en el costo de inventarios porque hay mucho menos aleatoriedad en la demanda para los elementos básicos del producto (por ejemplo, la plataforma) que la que hay para los componentes diferenciadores de las variantes del producto. Esto es porque, en casi todos los casos, la demanda para diferentes versiones de un producto tiene poca correlación, de modo que cuando la demanda para una versión sea alta, es posible que la demanda para alguna otra versión del producto sea baja.

Dos principios de diseño son condiciones necesarias para la postergación.

1. **Los elementos diferenciadores del producto deben estar concentrados en uno o muy pocos trozos.** Para diferenciar el producto a través de uno o muy pocos pasos sencillos del proceso, los atributos diferenciadores del producto deben estar definidos por uno o muy pocos componentes del producto. Considere el caso de los requisitos de distinta energía eléctrica para impresoras en diferentes regiones geográficas. Si las diferencias entre un producto adaptado para 120 VCA en Estados Unidos y 220 VCA en Europa estuvieran asociadas con varios componentes distribuidos en todo el producto (por ejemplo, cable de corriente, interruptor, transformador, rectificador, etc., todos en diferentes trozos), no habría forma de postergar la diferenciación del producto sin postergar también el ensamble de estos trozos. (Vea la figura 10-11, figura superior.) No obstante, si la única diferencia entre estos dos modelos es un solo trozo que contiene un cable y un "ladrillo" de fuente de

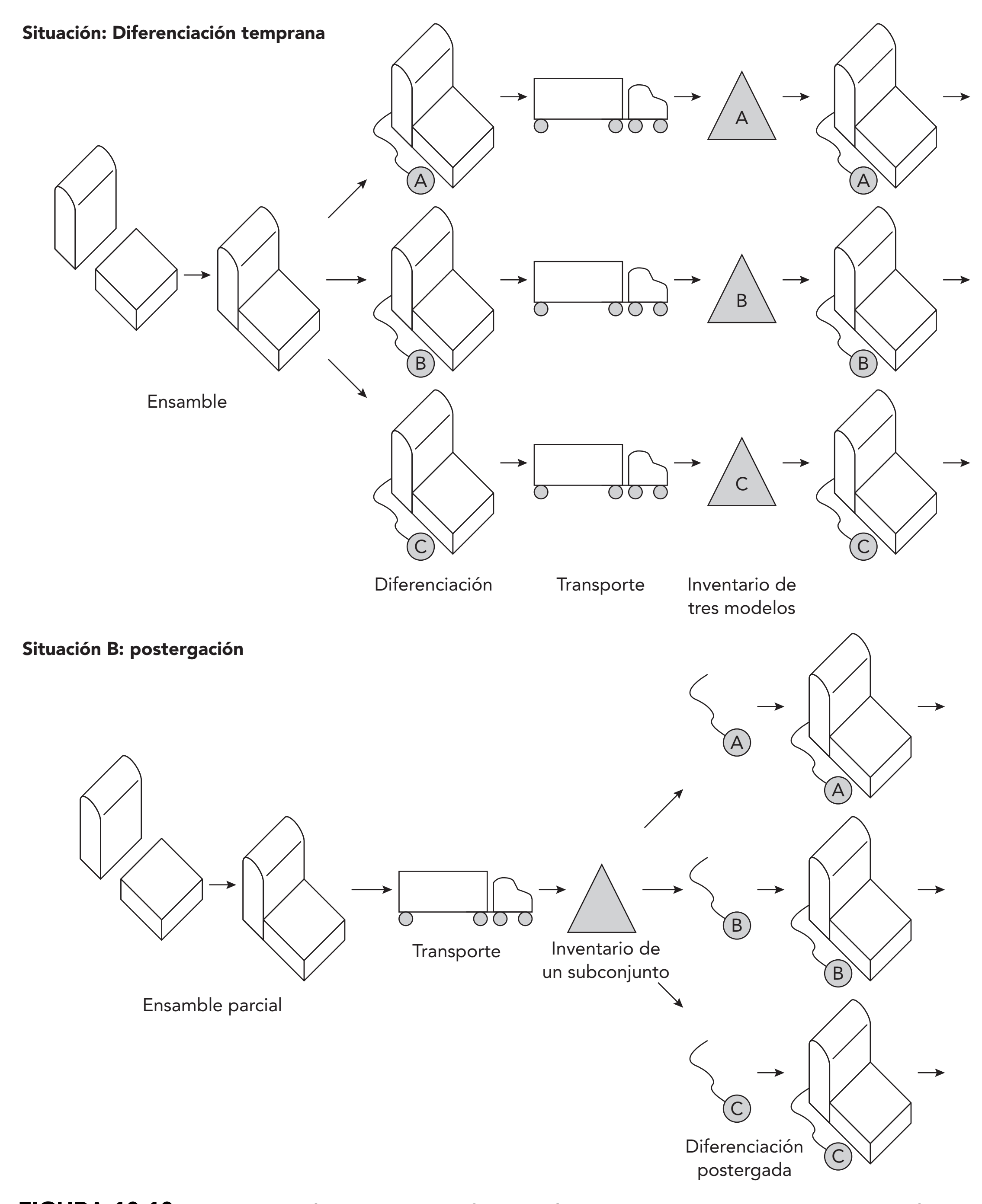


FIGURA 10-10 La postergación comprende la diferenciación postergada del producto hasta las etapas finales en la cadena de suministro. En la situación A, tres versiones del producto se crean durante el ensamble y antes del transporte. En la situación B, las tres versiones del producto no se crean sino hasta después del transporte.

alimentación, entonces la diferencia entre las dos versiones del producto requiere diferencias en sólo un trozo y una sola operación de ensamble. (Vea la figura 10-11, abajo.)

2. **El producto y el proceso de producción deben estar diseñados para que el(los) trozo(s) diferenciador(es) se pueda(n) agregar al producto cerca del final de la cadena de suministro.** Aun cuando los atributos diferenciadores del producto correspondan a un solo trozo, la postergación puede no ser posible. Esto es porque las restricciones del proceso de ensamble o diseño del producto pueden requerir que este trozo se ensamble en las primeras etapas de la cadena de suministro. Por ejemplo, uno podría imaginar el empaque de la impresora (es decir, la caja impresa) como un trozo diferenciador primario debido a diferentes requisitos de lenguaje para diferentes mercados. Si transportar el producto desde la fábrica al centro de distribución requería que la impresora se ensamblara en su caja, entonces sería imposible posponer la diferenciación del producto con respecto al tiempo de empaque. Para evitar este problema, Hewlett-Packard diseñó un ingenioso esquema de empaque en el que se usan charolas moldeadas para colocar varias docenas de impresoras ensambladas descubiertas en cada una de varias capas de una plataforma grande de embarque, que luego se pueden envolver con película plástica y cargarse directamente en un contenedor de embarque. Este método permite que haya diferenciación de la caja de cartón después que las impresoras hayan sido transportadas al centro de distribución y se haya instalado la fuente de alimentación apropiada.

Planeación de la plataforma

Hewlett-Packard proporciona productos DeskJet a clientes con diferentes necesidades. Para ejemplificar, considere que estos clientes pertenecen a tres segmentos de mercado: *familiar, estudiantil* y *pequeña-oficina/casa-oficina (SOHO)*. Para servir a estos clientes, Hewlett-Packard pudo desarrollar tres productos enteramente distintos, pudo ofrecer sólo un producto a los tres segmentos o pudo diferenciar estos productos a través de divergencias en sólo un subconjunto de los componentes de la impresora. (Vea en el capítulo 4, Planeación del producto, un examen de las decisiones relacionadas.)

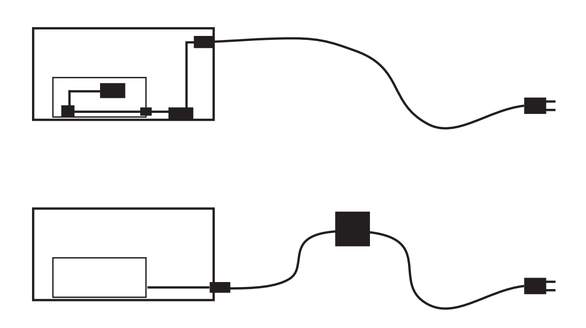


FIGURA 10-11 Para hacer posible la postergación, los atributos diferenciadores del producto deben estar concentrados en uno o muy pocos trozos. En la caja superior, la fuente de alimentación está distribuida en el cordón, caja, chasis y tarjeta lógica; en la caja inferior, la fuente de alimentación está confinada al cordón y a un "ladrillo" como fuente de alimentación.

Una propiedad deseable de la arquitectura del producto es que hace posible que una compañía ofrezca dos o más productos que son altamente diferenciados, pero que comparten una fracción importante de sus componentes. El conjunto de ventajas, incluyendo diseños de componentes, compartidas por estos productos, se llama *plataforma* del producto. La planeación de la plataforma del producto comprende manejar un punto medio básico entre claridad y características comunes. Por una parte, hay beneficios de mercado para ofrecer varias versiones muy distintivas de un producto; por otra, hay beneficios de diseño y manufactura para maximizar la medida a la que estos diferentes productos comparten componentes comunes. Dos sencillos sistemas de información permiten al equipo manejar este punto medio: el *plan de diferenciación* y el *plan de características comunes.*

Plan de diferenciación

El plan de diferenciación explícitamente representa las formas en que múltiples versiones de un producto serán diferentes desde la perspectiva del cliente y el mercado. La figura 10-12 muestra un ejemplo de plan de diferenciación. El plan está formado por una matriz, con filas para los atributos diferenciadores de la impresora y con columnas para las diferentes versiones o modelos del producto. Por *atributos diferenciadores* nos referimos a las características del producto que son importantes para el cliente y que están destinadas a ser diferentes en los productos. Los atributos diferenciadores se expresan generalmente como especificaciones, como se describe en el capítulo 6, Especificaciones del producto. El grupo utiliza el plan de diferenciación para codificar sus decisiones acerca de la forma en que los productos serán diferentes. Un plan de diferenciación, sin restricciones, cumpliría exactamente con las preferencias de los clientes de los segmentos del mercado seleccionados por cada producto diferente. Desafortunadamente, esos planes por lo general implican productos que tienen un costo prohibitivo.

Plan de características comunes

El plan de características comunes explícitamente representa las formas en que las diferentes versiones del producto son físicamente iguales. La figura 10-13 muestra un plan de características comunes para el ejemplo de la impresora; este plan está formado por una matriz con filas que representan los trozos del producto. Las columnas tercera, cuarta y quinta corresponden a tres versiones diferentes del producto. La segunda columna indica el número de tipos diferentes de cada trozo que están implicados por el plan. El grupo llena cada celda de las columnas restantes con una etiqueta para cada versión diferente de un trozo que se usará para formar el producto. Cuando no tienen restricciones, es probable que la mayoría de ingenieros de manufactura escojan usar sólo una versión de cada trozo en todas las variantes del producto. Desafortunadamente, esta estrategia resultaría en productos que no están diferenciados.

Manejo de compromisos entre diferenciación y características comunes

El desafío en la planeación de una plataforma es resolver la tensión entre el deseo de diferenciar los productos y el deseo de que éstos compartan una parte importante de sus componen-

Atributos diferenciadores	Familia	Estudiante	SOHO (pequeña-oficina /casa-oficina)
Calidad de impresión en negro	Calidad "casi láser" 300 dpi	Calidad "láser" 600 dpi	Calidad "láser" 600 dpi
Calidad de impresión en color	Calidad "casi fotográfica"	Equivalente a DJ600	Equivalente a DJ600
Velocidad de impresión	6 páginas por minuto	8 páginas/minuto	10 páginas/minuto
Tamaño	360 mm fondo × 400 mm ancho	340 mm fondo × 360 mm ancho	400 mm fondo × 450 mm ancho
Almacenamiento de papel	100 hojas	100 hojas	150 hojas
Estilo	"Consumidor"	"Consumidor joven"	"Comercial"
Conectividad a computadora	USB y puerto paralelo	USB	USB
Compatibilidad del sistema operativo	Macintosh y Windows	Macintosh y Windows	Windows

FIGURA 10-12 Un ejemplo de plan de diferenciación para una familia de tres impresoras.

Trozos	**Número de tipos**	**Familia**	**Estudiante**	**SOHO (pequeña-oficina /casa-oficina)**
Cartucho de impresión	2	Cartucho "Manet"	Cartucho "Picasso"	Cartucho "Picasso"
Mecanismo de impresión	2	Serie "Aurora"	Serie "Aurora" angosta	Serie "Aurora"
Charola de papel	2	Entra al frente, sale al frente	Entra al frente, sale al frente	Alto, entra al frente, sale al frente
Tarjeta lógica	2	"Siguiente generación" con puerto paralelo	"Siguiente generación"	"Siguiente generación"
Caja	3	Estilo para casa	Estilo juvenil	Estilo suave de oficina
Software controlador	5	Versión A-PC, Versión A-Mac	Versión B-PC, Versión B-Mac	Versión C

FIGURA 10-13 Ejemplo de plan de características comunes para una familia de tres impresoras.

tes. El examen del plan de diferenciación y del plan de características comunes deja ver varios compromisos. Por ejemplo, la impresora para estudiante tiene el potencial de ofrecer el beneficio de un pequeño espacio, que podría ser importante para estudiantes universitarios conscientes del espacio disponible. No obstante, este atributo de diferenciación implica que la impresora del estudiante requiera un trozo diferente de mecanismo de impresión que, es probable, aumente considerablemente la inversión requerida para diseñar y producir la impresora. Esta tensión entre el deseo de adaptar los beneficios de un producto al segmento de mercado objetivo y el deseo de minimizar la inversión, se destaca cuando el equipo trata de hacer consistentes el plan de diferenciación y el plan de características comunes. Ofrecemos varias directrices para manejar esta tensión.

- ***Las decisiones de planeación de la plataforma deben ser informadas por estimaciones cuantitativas de costo e implicaciones de ingresos:*** La estimación de la aportación de utilidad, desde un aumento de un punto porcentual en la participación de mercado, es un *benchmark* útil contra el cual medir el potencial aumento en costos de manufactura y cadena de suministro de versiones adicionales de un trozo. Al estimar costos de cadena de suministro, el grupo debe considerar la magnitud a la cual la diferenciación implicada por el plan de diferenciación se puede posponer o si debe ser creada al principio de la cadena de suministro.
- ***La iteración es benéfica:*** En nuestra experiencia, los equipos toman mejores decisiones cuando hacen varias iteraciones basadas en información aproximada que cuando se preocupan mucho por los detalles durante las relativamente pocas iteraciones.
- ***La arquitectura del producto dicta la naturaleza de los compromisos entre diferenciación y características comunes:*** La naturaleza del arreglo entre diferenciación y características comunes no es fija. En general, las arquitecturas modulares hacen posible compartir una más alta proporción de componentes que las arquitecturas integrales. Esto implica que cuando se enfrenta a un conflicto aparentemente difícil de manejar entre diferenciación y características comunes, el equipo debe considerar métodos alternativos de arquitectura, que pueden dar oportunidades de mejorar la diferenciación y características comunes.

Para el ejemplo de la impresora, la tensión entre diferenciación y características comunes podría resolverse mediante un compromiso. Es improbable que los beneficios por ingresos de una impresora ligeramente más angosta para estudiante excedan los costos asociados con crear un mecanismo de impresión más angosto y nuevo en todo. Los costos de diferentes mecanismos de impresión podrían ser muy altos dado que el mecanismo de impresión involucra inversiones importantes en equipamiento. Del mismo modo, debido a que el mecanismo de impresión se crea en las primeras etapas en la cadena de suministro, la postergación de diferenciación sería mucho menos factible si requiere diferentes mecanismos de impresión. Por estas razones, es probable que el equipo escoja usar un solo mecanismo de impresión común y renuncie a los posibles beneficios de un espacio más angosto para la impresora de estudiante.

Aspectos relacionados con el diseño a nivel del sistema

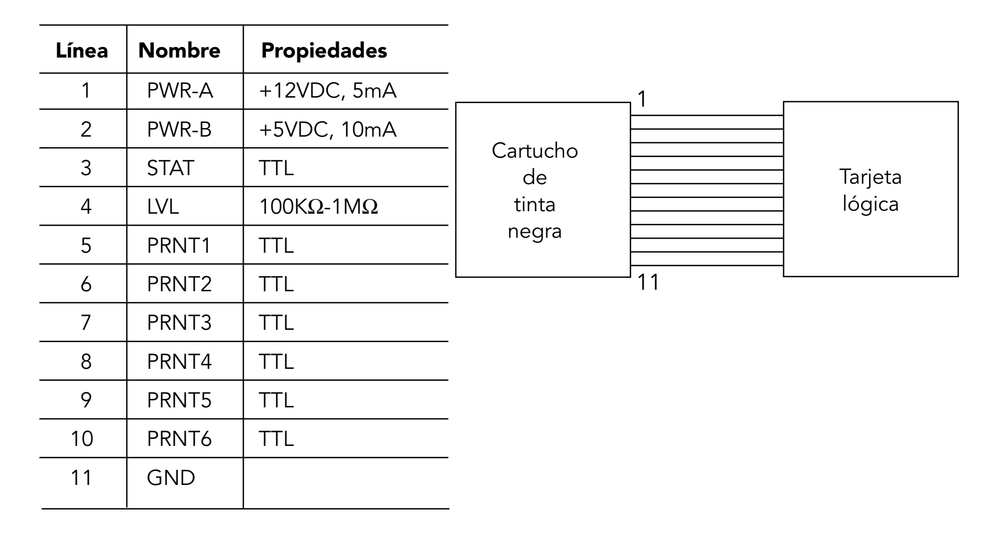
El método de cuatro pasos para establecer la arquitectura del producto guía las primeras actividades de diseño a nivel del sistema, pero continúan muchas actividades más detalladas. Aquí examinamos algunos de los problemas que con frecuencia aparecen durante subsiguientes actividades de diseño a nivel del sistema y sus implicaciones para la arquitectura del producto.

Definición de sistemas secundarios

El esquema de la figura 10-6 muestra sólo los elementos clave del producto. Hay muchos otros elementos funcionales y físicos que no se muestran, algunos de los cuales sólo se concebirán y detallarán a medida que evolucione el diseño a nivel del sistema. Estos elementos adicionales conforman los sistemas secundarios del producto. Los ejemplos incluyen sistemas de seguridad, sistemas de energía, monitores de estatus y soportes estructurales. Algunos de estos sistemas, por ejemplo los de seguridad, abarcan varios trozos. Afortunadamente, los sistemas secundarios suelen estar equipados con conexiones flexibles como el alambrado y conductos, y pueden ser considerados después de tomar las decisiones principales de arquitectura. Los sistemas secundarios que traspasan los límites de los trozos presentan un desafío especial de manejo: ¿debe ser asignado un grupo o una persona para diseñar un sistema secundario aun cuando el sistema estará formado por componentes que se encuentren en varios trozos?, ¿o deben el grupo o personas responsables de los trozos responsabilizarse también de la coordinación entre ellos para garantizar que los sistemas secundarios funcionarán como es necesario? Este último método es más típico, donde personas o grupos específicos son asignados a enfocarse en los sistemas secundarios.

Establecimiento de la arquitectura de los trozos

Algunos de los trozos de un producto complejo pueden ser sistemas muy complejos por sí mismos. Por ejemplo, muchos de los trozos de la impresora DeskJet contienen docenas de piezas. Cada uno de estos trozos puede tener su propia arquitectura, es decir, el esquema por el cual se divide en trozos más pequeños. Este problema es en esencia idéntico al desafío de arquitectura planteado al nivel de todo el producto. Una cuidadosa consideración de la arquitectura de los trozos es casi tan importante como la creación de la arquitectura de todo el producto. Por ejemplo, el cartucho de impresión está formado por las subfunciones *guardar tinta* y *entregar tinta* para cada uno de los cuatro colores de tinta. Varios métodos de arquitectura son posibles para este trozo, incluyendo, por ejemplo, el uso de depósitos que se pueden reemplazar de manera independiente para cada uno de los colores de tinta.



Línea	Nombre	Propiedades
1	PWR-A	+12VDC, 5mA
2	PWR-B	+5VDC, 10mA
3	STAT	TTL
4	LVL	100KΩ-1MΩ
5	PRNT1	TTL
6	PRNT2	TTL
7	PRNT3	TTL
8	PRNT4	TTL
9	PRNT5	TTL
10	PRNT6	TTL
11	GND	

FIGURA 10-14 Especificación de la interfase entre el cartucho de tinta negra y la tarjeta lógica.

Creación de especificaciones detalladas de interfase

A medida que avanza el diseño a nivel del sistema, las interacciones fundamentales indicadas por líneas en el esquema de la figura 10-6 están especificadas como conjuntos de señales mucho más detalladas, flujos de material e intercambios de energía. Cuando ocurre este refinamiento, la especificación de las interfases entre trozos debe aclararse. Por ejemplo, la figura 10-14 muestra una visión general de una posible especificación de una interfase entre un cartucho de tinta negra y una tarjeta lógica para una impresora. Estas interfases representan los "contratos" entre trozos y es frecuente que se detallen en documentos formales de especificaciones.

Resumen

La arquitectura de un producto es el esquema por el que elementos funcionales del producto se integran en trozos físicos. La arquitectura del producto se establece durante el desarrollo del concepto y las fases de desarrollo del diseño a nivel del sistema.

- Las decisiones de la arquitectura de un producto tienen implicaciones de largo alcance que afectan el cambio de producto, variedad de productos, estandarización de componentes, rendimiento de producto, capacidad de manufactura y gestión del desarrollo del producto.
- Una característica clave de la arquitectura de un producto es el grado en que es modular o integral.
- Las arquitecturas modulares son aquellas en las que cada trozo físico activa un conjunto específico de elementos funcionales y tiene interacciones bien definidas con los otros trozos.
- Hay tres tipos de arquitecturas modulares: modular de ranura, modular de bus y modular seccional.
- Las arquitecturas integrales son aquellas en las que la activación de elementos funcionales se extiende en los trozos, resultando en interacciones mal definidas entre los trozos.

- Recomendamos un método de cuatro pasos para establecer la arquitectura del producto:

  1. Crear un esquema del producto.
  2. Agrupar los elementos del esquema.
  3. Crear una disposición geométrica aproximada.
  4. Identificar las interacciones fundamentales e incidentales.

- Este método lleva al equipo por las decisiones preliminares de arquitectura. Las subsiguientes actividades a nivel del sistema y diseño de detalles contribuirán a una continua evolución de los detalles de arquitectura.
- La arquitectura del producto puede hacer posible la postergación, la diferenciación postergada del producto, que ofrece considerables ahorros potenciales de costos.
- Las opciones de arquitectura están estrechamente ligadas a la planeación de plataforma, el equilibrio entre diferenciación y características comunes cuando aborden diferentes segmentos de mercado con distintas versiones de un producto.
- Debido a implicaciones generales de decisiones de arquitectura, las entradas desde la mercadotecnia, la manufactura y el diseño son esenciales en este aspecto del desarrollo del producto.

Referencias y bibliografía

Existen numerosos recursos actuales en internet **www.ulrich-eppinger.net**

Los conceptos básicos de arquitectura de un producto y sus implicaciones se desarrollan y examinan en este artículo.

Ulrich, Karl, "The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm," *Research Policy*, vol. 24, 1995, pp. 419-440.

Muchos de los problemas que resultan al establecer la arquitectura de un producto son tratados desde una perspectiva ligeramente distinta en la literatura de ingeniería de sistemas. Hall presenta una visión general junto con numerosas referencias relevantes. Maier y Rechtin examinan la arquitectura de sistemas complejos.

Hall, Arthur D., III, *Metasystems Methodology: A New Synthesis and Unification*, Pergamon Press, Elmsford, NY, 1989.

Maier, Mark W. y Eberhardt Rechtin, *The Art of Systems Architecting*, 2a. ed., CRC Press, Boca Ratón, FL, 2000.

La relación entre variedad de productos y arquitectura de productos es analizada por Pine en el contexto de la *personalización en masa* o manufactura de muy alta variedad.

Pine, B. Joseph, II, *Mass Customization: The New Frontier in Business Competition*, Harvard Business School Press, Boston, 1992.

Clark y Fujimoto estudian la práctica de interacciones de "caja negra" del proveedor en su libro sobre desarrollo del producto en la industria automovilística. En esta situación, el fabricante especifica sólo la función en interfase de un trozo o componente y el proveedor maneja los problemas de implementación detallada.

Clark, Kim B. y Takahiro Fujimoto, *Product Development Performance: Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry*, Harvard Business School Press, Boston, 1991.

Alexander y Simon están entre los primeros autores en estudiar la división de un sistema en trozos que actúan de modo mínimo y que interactúan entre ellos.

Alexander, Christopher, *Notes on the Synthesis of Form*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1964.

Simon, Herbert, “The Architecture of Complexity,” in *The Sciences of the Artificial*, 3a. ed., MIT Press, Cambridge, MA, 1996. (Con base en un artículo que apareció originalmente en 1965.)

Eppinger ha desarrollado métodos basados en matrices para ayudar a analizar arquitecturas de sistemas basadas en documentación de las interacciones entre trozos y los equipos que ponen en práctica los trozos.

Eppinger, Steven D., “A Planning Method for Integration of Large-Scale Engineering Systems,” International Conference on Engineering Design, ICED 97, Tampere, Finland, agosto de 1997, pp. 199-204.

Más detalles sobre diferenciación postergada y rendimiento de cadenas de suministro se pueden hallar en la obra de Lee y colegas.

Lee, Hau L., “Effective Inventory and Service Management through Product and Process Re-Design,” *Operations Research*, vol. 44, núm. 1, 1996, pp. 151-159.

Lee, Hau L. y C. Tang, “Modelling the Costs and Benefits of Delayed Product Differentiation,” *Management Science*, vol. 43, núm. 1, enero de 1997, pp. 40-53.

Lee, Hau L., Cory Billington y Brent Carter, “Hewlett-Packard Gains Control of Inventory and Service through Design for Localization,” *Interfaces*, agosto de 1993, pp. 1-11.

El método de planeación de una plataforma presentado en este capítulo se deriva en parte del estudio más completo realizado por Robertson y Ulrich.

Robertson, David y Karl Ulrich, “Planning for Product Platforms,” *Sloan Management Review*, vol. 39, núm. 4, verano de 1998, pp. 19-31.

Ejercicios

1. Trace un esquema para un reloj de pulsera, usando sólo elementos funcionales (sin suponer ningún principio ni componentes particulares de trabajo físico).

2. Describa la arquitectura de una navaja del ejército suizo. ¿Qué ventajas y desventajas presenta esta arquitectura?

3. Desarme un pequeño producto electromecánico (que esté usted dispuesto a sacrificar si es necesario). Trace un esquema que incluya los elementos funcionales esenciales. Identifique dos o tres posibles agrupaciones de estos elementos en trozos. ¿Hay alguna evidencia que indique la arquitectura seleccionada por el grupo de desarrollo?

Preguntas de análisis

1. Los productos de servicio, por ejemplo cuentas bancarias o pólizas de seguros, ¿tienen arquitectura?

2. ¿Puede una empresa alcanzar alta variedad de productos sin una arquitectura modular de productos? ¿Cómo (o por qué no)?

3. El argumento para la arquitectura de la motocicleta que se muestra en la figura 10-5 es que considera una motocicleta más ligera que la alternativa más modular. ¿Cuáles son las otras ventajas y desventajas? ¿Cuál método sería menos costoso de fabricar?

4. Hay miles de decisiones de arquitectura por tomar en el desarrollo de un automóvil. Considere todas las probables interacciones fundamentales e incidentales que cualquier elemento funcional (cinturones de seguridad, por ejemplo) tendría con los otros. ¿Cómo usaría usted la documentación de esas interacciones para guiar la decisión de qué trozo poner en este elemento funcional?

5. El esquema que se ilustra en la figura 10-6 incluye 15 elementos. Considere la posibilidad de asignar cada elemento a su propio trozo. ¿Cuáles son los puntos fuertes y débiles de esa arquitectura?

CAPÍTULO ONCE

Diseño industrial



Cortesía de Motorola Inc.

FIGURA 11-1 Evolución de teléfonos celulares Motorola. Se muestran los modelos (en el sentido de las agujas de un reloj, desde la izquierda, arriba) MicroTAC (1989), StarTAC (1993), V60 (2001) y RAZR (2004).

En 2003, Motorola lanzó al mercado un trabajo de desarrollo de producto para aumentar sus muy exitosas, pero que se hacían obsoletas, líneas de teléfonos celulares plegables (*clamshell*) con un sensacional nuevo producto. Las plataformas StarTAC y Serie V habían tenido varias generaciones de productos puestos a la venta desde principios de la década de 1990, incluyendo, finalmente, modelos para todos los estándares y mercados mundiales importantes.

El nuevo diseño RAZR surgió de la visualización de un producto que debía ser "delgado para ganar", mucho más delgado que otros teléfonos celulares en el mercado e impresionante en su nueva forma icónica. Este diseño requirió de una nueva arquitectura, totalmente diferente de las plataformas existentes de producto. Desde su introducción en 2004, los clientes juzgaron el diseño ultradelgado del RAZR (figura 11-1) tan radical como sus predecesores, los celulares Motorola, cuando fueron puestos a la venta.

Las ventas, para quienes los adoptaron primero, llegaron rápidamente después de una exitosa introducción en el mercado en la que celebridades de Hollywood fueron presentadas con el producto. Rebasando las expectativas de Motorola, las ventas del RAZR fueron de millones de unidades en menos de un año desde su puesta a la venta. Este éxito se puede atribuir a varios factores:

- ***Tamaño y peso pequeños:*** Con su forma más delgada, el RAZR fue "más fácil de meter en el bolsillo" que otros modelos de teléfono celular. Además tenía un grosor de 14 milímetros y un peso 95 gramos, que lo hicieron el celular más delgado y uno de los más ligeros en el mercado en ese tiempo.
- ***Características de rendimiento:*** El RAZR tiene una cámara VGA integrada, un teclado grande e iluminado por detrás, y una pantalla grande, brillante y en color para nuevas aplicaciones de video y gráficos. En lugar de enchufe para auriculares, en el RAZR se utilizó una red Bluetooth para accesorios de auricular inalámbricos. Se logró una excelente señal de recepción y transmisión con una novedosa distribución en la que la antena del teléfono se colocó abajo del teclado, lejos de los dedos del usuario para evitar que éstos pudieran bloquear señales débiles.
- ***Excelente ergonomía:*** El diseño ergonómico y elegante complementó el rostro humano. La forma del aparato, en particular la posición en ángulo de la pantalla con respecto a la sección del teclado, se ajustó al usuario para una muy buena comodidad. La separación y posición de los botones del teclado se basaron en estándares aceptados, y prolongadas pruebas dieron margen a una marcación rápida y precisa. El diseño plegable permite al usuario contestar o terminar llamadas al abrir o cerrar el teléfono con una sola mano, ayudado por un pequeño rebaje entre las dos secciones del teléfono. Un nuevo software para navegación y nuevos atajos para introducir texto facilitaron el envío de mensajes y otras aplicaciones.
- ***Durabilidad:*** Al igual que todos los productos Motorola, el RAZR se diseñó para cumplir con rigurosas especificaciones. Se puede dejar caer desde una altura de un metro al pavimento o una persona se puede sentar sobre él estando abierto sin que sufra ningún daño. El RAZR también puede resistir temperaturas extremas, humedad, golpes, polvo y vibraciones.
- ***Materiales:*** En el RAZR se utilizaron diversos materiales avanzados para mejorar su rendimiento y aspecto. Entre éstos se cuenta un teclado cortado con rayo láser con figuras marcadas con láser, bisagra de magnesio, caja ultradelgada de aluminio anodizado, caja de policarbonato compuesto para la antena y vidrio químicamente recocido con una capa de película delgada.

- ***Aspecto:*** El diseño elegante y su acabado metálico dan al RAZR un aspecto futurista que se asocia con innovaciones. Debido a su apariencia estética y aspecto altamente reconocible, el RAZR se convirtió pronto en un símbolo de estatus para quienes lo adoptaron primero y creó fuerte sensación de orgullo entre sus propietarios.

El equipo de desarrollo del RAZR incluyó ingenieros electricistas, mecánicos en materiales, en software y de manufactura, cuyas aportaciones fueron útiles para el desarrollo de tecnologías y procesos de manufactura que permitieron al producto alcanzar su factor de forma, rendimiento y peso. No obstante, sin las aportaciones de diseñadores industriales, que definieron el tamaño, forma y factores humanos, el RAZR nunca hubiera tenido su forma innovadora y ultradelgada. De hecho, el equipo de Motorola pudo haber desarrollado con facilidad "simplemente otro teléfono" más pequeño y más liviano que los modelos anteriores de teléfono celular. En cambio, un concepto revolucionario generado por diseñadores industriales sobre el equipo convirtió el proyecto en un éxito impresionante.

Los diseñadores industriales son sobre todo responsables de los aspectos de un producto que se relacionan con la experiencia del usuario, es decir, el atractivo estético del producto (cómo se ve, suena, se siente, huele) y sus interfases funcionales (cómo se usa). Para muchos fabricantes, el diseño industrial ha sido, históricamente, una ocurrencia tardía. Los gerentes empleaban diseñadores industriales para el estilo o "envoltura para regalo" de un producto después de haber determinado sus funciones técnicas. Las empresas vendían entonces el producto con base sólo en los méritos de su tecnología, aun cuando es cierto que los clientes valoran un producto usando juicios más holísticos, incluyendo ergonomía y estilo.

Hoy en día, la tecnología de un producto suele no ser suficiente para garantizar su éxito comercial. La globalización de los mercados ha resultado en el diseño y manufactura de un amplio conjunto de productos de consumo. Una feroz competencia hace poco probable que una empresa disfrute de una ventaja competitiva sostenible sólo a través de tecnología. De conformidad con esto, empresas como Motorola están empleando cada vez más el diseño industrial como una importante herramienta para satisfacer las necesidades del cliente y diferenciar sus productos de los de sus competidores.

Este capítulo es una introducción al diseño industrial (DI) para ingenieros y gerentes, y explica la forma en que el proceso del DI tiene lugar en relación con otras actividades de desarrollo del producto. Nos referimos al ejemplo del RAZR en todo este capítulo para explicar ideas de importancia crítica. Específicamente, este capítulo presenta:

- Una perspectiva histórica sobre el DI y una definición de trabajo del DI.
- Estadísticas sobre inversiones típicas en DI.
- Un método para determinar la importancia del DI para un producto en particular.
- Los costos y beneficios de invertir en DI.
- La forma en que el DI ayuda a establecer la identidad de una empresa.
- Pasos específicos que diseñadores industriales siguen cuando diseñan un producto.
- Una descripción de cómo cambia el proceso del DI de acuerdo con el tipo de producto.
- Un método para evaluar la calidad del trabajo del DI para un producto terminado.

¿Qué es el diseño industrial?

El nacimiento del DI se puede rastrear a veces hasta la Europa occidental de principios del siglo XX. (Vea en la obra de Lorenz, 1986, un relato de la historia del DI que aquí resumimos.)

Varias empresas alemanas, incluyendo AEG, un gran fabricante de equipo eléctrico, comisionaron a una multitud de artesanos y arquitectos para diseñar varios productos para manufactura. Inicialmente, estos primeros diseñadores europeos hicieron poco efecto directo en la industria; no obstante, su trabajo resultó en teorías duraderas que tuvieron influencia y conformaron lo que ahora se conoce como diseño industrial. Los primeros procedimientos europeos en el DI, por ejemplo el movimiento llamado Bauhaus, fueron más allá del funcionalismo; destacaron la importancia de la geometría, precisión, sencillez y economía en el diseño de productos. En pocas palabras, los primeros diseñadores europeos pensaban que un producto debería diseñarse "de dentro hacia fuera". La forma seguiría a la función.

En Estados Unidos, sin embargo, los primeros conceptos del DI fueron muy diferentes. Mientras los primeros diseñadores industriales de Europa fueron arquitectos e ingenieros, la mayoría de estos profesionales en Estados Unidos fueron en realidad diseñadores de teatro e ilustradores de revistas. No es sorprendente que el DI en Estados Unidos estuviera al servicio de ventas y publicidad, donde el exterior del producto era lo más importante y su interior importaba poco. Los pioneros en el diseño industrial en Estados Unidos, incluidos Walter Dorwin Teague, Norman Bel Geddes y Raymond Loewy, destacaron el perfil aerodinámico en el diseño de productos. Esta tendencia se evidencia mejor en productos estadounidenses de la década de 1930. De plumas fuente a coches pequeños para bebés, los productos se diseñaron con formas aerodinámicas no funcionales en un intento por crear productos atractivos. La industria automotriz es otro ejemplo. Las formas de los automóviles europeos de la década de 1950 eran más sencillas y suaves, en tanto que los de Estados Unidos de la misma época estaban decorados con características no funcionales como aletas de cola y dientes cromados.

Para la década de 1970, sin embargo, el diseño europeo había ya ejercido una fuerte influencia en el DI de Estados Unidos, principalmente a través de las obras de Henry Dreyfuss y Eliot Noyes. Una mayor competencia en el mercado obligó a las empresas a buscar formas para mejorar y diferenciar sus productos. Cada vez más, éstas aceptaron que la función del DI debía ir más allá de la mera forma y apariencia. Casos de éxito como los de Bell, Deere, Ford e IBM, que integraron eficazmente el DI en su proceso de desarrollo de productos, ayudaron a fomentar esta idea.

En el año 2000, el diseño industrial había sido convertido en práctica generalizada por profesionales en Estados Unidos, en muchas situaciones que iban desde pequeñas empresas de consultoría de diseño hasta oficinas de diseño propias dentro de grandes compañías manufactureras. Los diseñadores industriales de Motorola forman un departamento llamado "diseño de experiencia del consumidor" y participan en todos los trabajos de desarrollo de nuevos productos.

La Industrial Designers Society of America (IDSA) define el diseño industrial como "el servicio profesional de crear y desarrollar conceptos y especificaciones que optimizan la función, valor y aspecto de productos y sistemas para el mutuo beneficio del usuario y el fabricante". Esta definición es bastante amplia para incluir las actividades de todo el equipo de desarrollo del producto. De hecho, los diseñadores industriales concentran su atención en la forma e interacción del usuario de productos. Dreyfuss (1967) hace una lista de cinco metas críticas que los diseñadores industriales pueden ayudar al grupo a alcanzar cuando desarrollen nuevos productos:

- ***Utilidad:*** Las interfases humanas del producto deben ser seguras, fáciles de usar e intuitivas. Cada característica debe tener forma para comunicar su función al usuario.
- ***Aspecto:*** Forma, línea, proporción y color se usan para integrar el producto en un todo agradable.

- ***Facilidad de mantenimiento:*** Los productos también deben estar diseñados para comunicar cómo deben mantenerse y repararse.
- ***Bajos costos:*** La forma y características tienen un gran efecto en los costos de equipamiento y producción, de modo que deben ser consideradas en conjunto por el equipo.
- ***Comunicación:*** Los diseños del producto deben comunicar la filosofía corporativa del diseño y su misión a través de cualidades visuales de los productos.

Los diseñadores industriales por lo general reciben su educación en programas universitarios de cuatro años donde estudian escultura y forma; desarrollan habilidades para el dibujo, presentación y elaboración de modelos; y adquieren un conocimiento básico de materiales, técnicas de manufactura y acabados. En la práctica industrial, los diseñadores reciben exposición adicional a ingeniería básica, procesos avanzados de manufactura o fabricación y prácticas comunes de mercadotecnia. Su capacidad para expresar ideas visualmente puede facilitar el proceso del desarrollo del concepto para el grupo. Los diseñadores industriales pueden crear casi todos los bosquejos del concepto, modelos e ilustraciones que son empleados por el grupo en todo el proceso de desarrollo, aun cuando las ideas provengan de todo el equipo.

Evaluación de necesidades para el diseño industrial

A fin de evaluar la importancia del DI para un producto en particular, primero repasamos algunas estadísticas de inversión y luego definimos las dimensiones del producto, las cuales dependen de un buen diseño industrial.

Gastos para diseño industrial

La figura 11-2 muestra los valores aproximados de inversión en DI para una variedad de productos. Los gastos totales en DI y el porcentaje del presupuesto de desarrollo del producto invertidos en DI se muestran para productos de consumo e industriales que abarcan varias industrias. Estas estadísticas deben dar a grupos de diseño una idea aproximada de la inversión en DI que será necesaria para un nuevo producto.

La figura muestra que el margen de gastos en DI es enorme. Para productos con relativamente poca interacción del usuario, como algunos tipos de equipo industrial, el costo del DI es sólo de algunas decenas de miles de dólares. Por otra parte, el desarrollo de un producto intensamente visual e interactivo como lo es un automóvil, requiere de millones de dólares de trabajo de DI. El costo relativo del DI como fracción del presupuesto total de desarrollo también muestra una variación muy grande. Para un producto altamente refinado, por ejemplo un nuevo avión, el costo de DI puede ser insignificante con respecto a los gastos de ingeniería y otros desarrollos, pero esto no significa que el DI no sea importante para esos productos; sólo significa que las otras funciones de desarrollo son más costosas. Ciertamente el éxito del diseño de un nuevo automóvil depende en gran medida de su atractivo estético y calidad de las interfases del usuario, dos dimensiones en gran medida determinadas por el DI, aun cuando el gasto en DI de 10 millones de dólares es modesto con respecto a todo el presupuesto de desarrollo.

¿Qué tan importante es el diseño industrial para un producto?

Casi todos los productos en el mercado se pueden mejorar en una forma u otra con un buen diseño industrial. Todos los productos que usan, operan o ven las personas dependen mucho del diseño industrial (DI) para tener éxito mercantil.

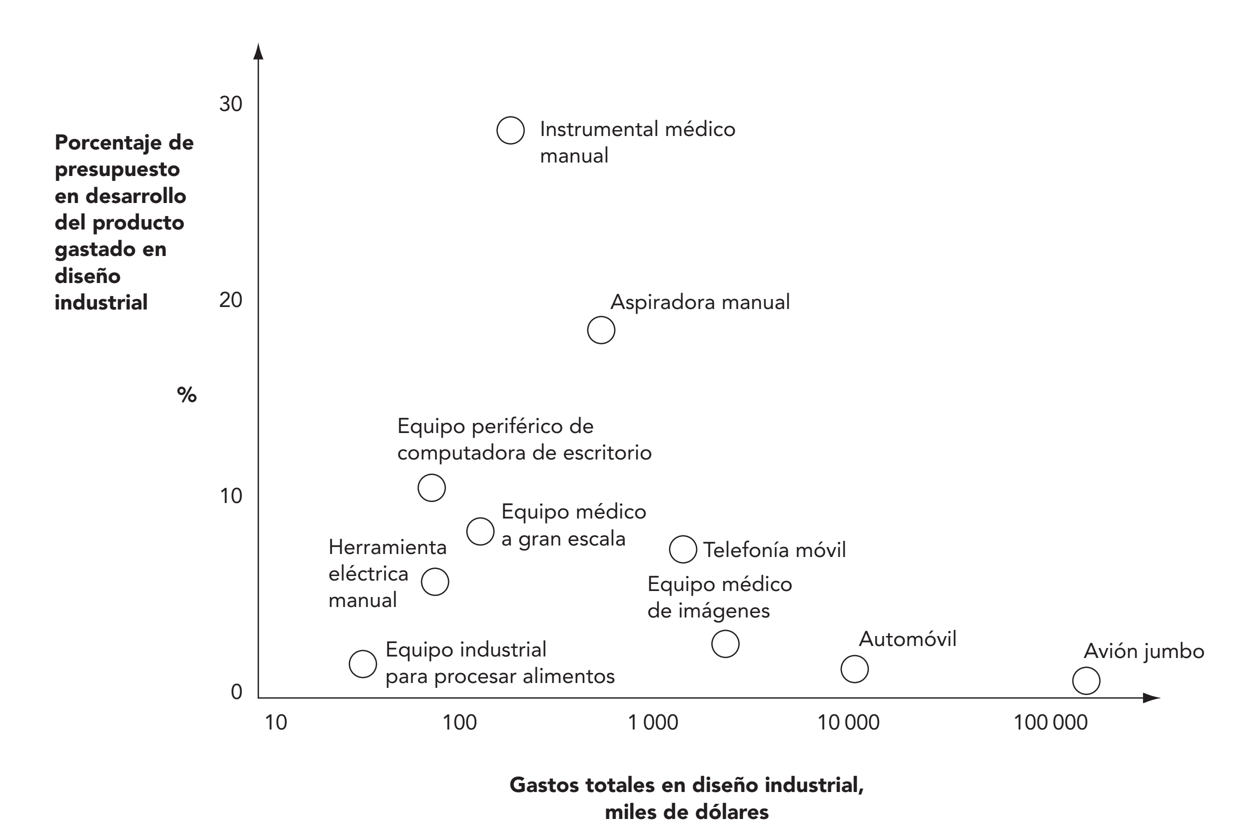


FIGURA 11-2 Gastos en diseño industrial para algunos productos de consumo e industriales.

Con esto en mente, un medio cómodo para evaluar la importancia del DI para un producto particular es caracterizar la importancia en dos dimensiones: ergonómica y estética. (Nótese que usamos el término *ergonómico* para abarcar todos los aspectos de un producto que se relacionen con sus interfases humanas.) Cuanto más importante sea cada dimensión para el éxito del producto, más depende éste del diseño industrial. Por lo tanto, para contestar una serie de preguntas a lo largo de cada dimensión podemos evaluar cualitativamente la importancia del diseño industrial.

Necesidades ergonómicas

- ***¿Qué tan importante es la facilidad de uso?*** La facilidad de uso puede ser sumamente importante para productos que se usen con frecuencia; por ejemplo, una fotocopiadora de oficina, y para productos que no se usen con frecuencia, como un extintor de fuego. La facilidad de uso se complica si el producto tiene múltiples características y/o modos de operación que puedan confundir o frustrar al usuario. Cuando la facilidad de uso sea un criterio importante, los diseñadores industriales deberán garantizar que las características del producto comuniquen de manera eficaz su función.
- ***¿Qué tan importante es su facilidad de mantenimiento?*** Si el producto necesita mantenimiento o reparación frecuentes, entonces la facilidad de mantenimiento es de primera im-

portancia. Por ejemplo, un usuario debe ser capaz de despejar con facilidad un atasco de papel en una impresora o fotocopiadora. De nuevo, es muy importante que las características del producto comuniquen al usuario procedimientos de mantenimiento/reparación. No obstante, en muchos casos, una solución más deseable es eliminar por completo la necesidad de mantenimiento.

- ***¿Cuántas interacciones del usuario se requieren para las funciones del producto?*** En general, cuantas más interacciones tengan los usuarios con el producto, más dependerá el producto del DI. Por ejemplo, una perilla de puerta requiere por lo general sólo una interacción, mientras una computadora portátil puede requerir una docena o más, todo lo cual el diseñador industrial debe entender a profundidad. Además, cada interacción puede requerir un método diferente de diseño y/o investigación adicional.
- ***¿Qué tan novedosas son las necesidades de interacción del usuario?*** La interfase de un usuario que requiera mejoras incrementales a un diseño existente será relativamente fácil de diseñar; por ejemplo, los botones del ratón de una nueva computadora de escritorio. Una interfase más novedosa de usuario puede requerir estudios considerables de investigación y factibilidad; por ejemplo, el de "rueda de clic" en el primer reproductor de música iPod de Apple.
- ***¿Cuáles son los problemas de seguridad?*** En todos los productos se considera la seguridad. En algunos estos problemas pueden presentar desafíos importantes para el grupo de diseño. Por ejemplo, las cuestiones de seguridad en el diseño del juguete para un niño son mucho más importantes que en el diseño del ratón de una nueva computadora.

Necesidades estéticas

- ***¿Se requiere diferenciación visual del producto?*** Los productos con mercados y tecnología estables dependen del diseño industrial (DI) para crear una estética atractiva y, por lo tanto, obtener diferenciación visual. En contraste, un producto como la unidad de disco interno de una computadora, que está diferenciado por su rendimiento tecnológico, depende menos del diseño industrial.
- ***¿Qué tan importantes son el orgullo de propiedad, imagen y moda?*** La percepción que tenga un propietario de un producto se basa en parte en su atractivo estético. Un producto estético puede estar asociado con alta moda e imagen y podría crear un fuerte sentido de orgullo en sus propietarios. Esto también puede ser cierto para un producto que se ve y se siente robusto y conservador. Cuando estas características son importantes, el DI desempeña una función de importancia decisiva en determinar el éxito final del producto.
- ***¿Un producto estético motivará al grupo?*** Un producto que es estéticamente atractivo puede generar un sentido de orgullo de equipo entre el personal de diseño y el de manufactura. El orgullo de equipo ayuda a motivar y unir a todos los asociados con el proyecto. Un concepto temprano de DI da al equipo una visión concreta del resultado final del trabajo de desarrollo.

Para demostrar este método podemos usar las preguntas de los párrafos previos para evaluar la importancia del diseño industrial en el desarrollo del teléfono RAZR de Motorola. La figura 11-3 muestra los resultados de este análisis. Encontramos que ergonomía y estética fueron muy importantes para el RAZR. De conformidad con esto, el DI en verdad desempeñó un gran papel en determinar muchos de los factores cruciales del éxito del producto.

Necesidades	Nivel de importancia	Explicación de calificación
	Bajo Medio Alto	
Ergonómicas		
Facilidad de uso		Crucial para un teléfono celular pues se usa con frecuencia, es necesario en situaciones de emergencia y puede ser operado por automovilistas cuando manejan. La función del producto debe comunicarse por su diseño.
Facilidad de mantenimiento		Al igual que con muchos productos electrónicos integrados, requiere de muy poco mantenimiento.
Cantidad de interacciones de usuario		Hay muchas interacciones importantes del usuario como son introducir texto, marcar y guardar números, enviar y recibir llamadas, tomar fotos, acceder a internet.
Novedad de interacciones de usuario		Las soluciones de diseño asociadas con algunas interacciones del cliente son sencillas; por ejemplo, el teclado numérico, puesto que hay gran variedad de información de factores humanos que dictan las dimensiones básicas. No obstante, otras interfases, como operar con una mano un teléfono delgado, fueron muy diferentes en modelos anteriores y por ello requerían un estudio cuidadoso.
Seguridad		Hubo pocos problemas de seguridad para el DI a considerar en el RAZR mismo. No obstante, como muchos clientes usan teléfono celular en automóviles hubo necesidad de diseñar una línea de accesorios inalámbricos Bluetooth para una operación a manos libres, segura y cómoda.
Estética		
Diferenciación de producto		Había cientos de modelos de teléfonos celulares en el mercado cuando se introdujo el RAZR. Su aspecto fue esencial para la diferenciación.
Orgullo de propiedad, moda o imagen		El RAZR estaba destinado a ser un producto altamente visible empleado en negocios y comunicación personal en lugares públicos. Tenía que ser sorprendentemente atractivo en el uso diario.
Motivación del grupo		La novedosa forma del RAZR resultó ser una inspiración importante para el grupo de desarrollo y un punto de venta para la alta administración.

FIGURA 11-3 Evaluación de la importancia del diseño industrial para el teléfono celular RAZR de Motorola.

El impacto del diseño industrial

La sección previa se concentró básicamente en la importancia del DI para satisfacer las necesidades del cliente. A continuación exploramos tanto el efecto económico directo de invertir en diseño industrial (DI) como su trascendencia en la identidad corporativa.

¿Merece invertirse en diseño industrial?

Es frecuente que los gerentes deseen saber, para un producto específico o para una operación financiera en general, cuánto trabajo debe invertirse en diseño industrial. Si bien es difícil contestar con precisión esta pregunta, podemos ofrecer varias ideas al considerar los costos y beneficios. El costo del DI incluye costo directo, costo de manufactura y costo en tiempo, como se describe a continuación:

- El *costo directo* es el costo de los servicios del DI. Esta cantidad está determinada por el número y tipo de diseñadores empleados durante el proyecto, y el número de modelos requeridos, más costos de material y otros gastos relacionados. En 2011, los servicios de consultoría de DI en Estados Unidos costaban desde 75 hasta 300 dólares por hora, con casi todo el trabajo ejecutado por diseñadores de nivel intermedio en la mitad inferior de este intervalo de precio y diseñadores experimentados contribuyendo con relativamente pocas horas de más trabajo estratégico en la mitad superior del intervalo de precio. Otros cargos incluyen costos de modelos, fotos y demás gastos. El verdadero costo de servicios internos de diseño corporativo es de ordinario igual.
- El *costo de manufactura* es el gasto realizado para establecer los detalles del producto creados por el DI. Los acabados superficiales, formas estilizadas, colores llamativos y muchos otros detalles de diseño pueden aumentar el costo del equipamiento y/o el costo de producción. Nótese, no obstante, que muchos detalles del DI pueden realizarse prácticamente sin costo, en particular si el DI interviene en etapas bastante tempranas del proceso (vea abajo). De hecho, algunas entradas del DI en realidad pueden reducir costos de manufactura, en particular cuando el diseñador industrial trabaja muy de cerca con ingenieros en manufactura.
- El *costo en tiempo* es el costo asociado con un prolongado tiempo de entrega. Cuando diseñadores industriales tratan de refinar la ergonomía y estética de un producto, son necesarias múltiples iteraciones de diseño y/o prototipos. Esto puede resultar en una demora en la introducción del producto, que con toda probabilidad tendrá un costo económico.

Los beneficios de usar el DI incluyen un mayor atractivo del producto y más satisfacción del cliente a través de más o mejores funciones, fuerte identidad de marca y diferenciación del producto. Estos beneficios suelen traducirse en poner un precio más alto y/o mayor participación de mercado (en comparación con la mercadotecnia del producto sin trabajo de diseño industrial).

Estos costos y beneficios del DI se estimaron como parte de un estudio realizado en el Massachusetts Institute of Technology (MIT), que evaluó el efecto de decisiones del diseño de detalles en factores del éxito de producto para un conjunto de productos competidores en el mercado (cafeteras automáticas por goteo). Aun cuando la relación es difícil de cuantificar con precisión, este estudio encontró una correlación importante entre estética del producto (calificado por diseñadores industriales practicantes) y el precio al menudeo de cada producto, pero no encontró correlación entre estética y costo de manufactura. Los investigadores no pu-

dieron concluir si los fabricantes habían asignado precios a sus productos de una manera óptima y no pudieron determinar en forma inequívoca si la estética de los productos hizo posible que los fabricantes pusieran precios más altos. No obstante, el estudio sugiere que un aumento en precio de un dólar por unidad para volúmenes de venta típicos valdría varios millones de dólares en utilidades durante la vida útil de estos productos. Los diseñadores industriales a quienes se pidió asignaran precio a servicios de diseño para esos productos, dieron un intervalo entre 75 000 y 250 000 dólares, lo cual sugiere que si el DI pudiera agregar al menos un dólar de valor de beneficio percibido al consumidor, recompensaría muy bien (Pearson, 1992).

Un segundo estudio, realizado en la Open University en Inglaterra, también sugiere que invertir en DI da un rendimiento positivo. Este estudio dio seguimiento al resultado comercial de invertir en ingeniería y en DI para 221 proyectos de diseño en empresas manufactureras pequeñas y medianas. El estudio encontró que invertir en consultores de diseño industrial llevó a utilidades de más de 90 por ciento en todos los proyectos llevados a cabo, y cuando las comparaciones fueron posibles con productos previos, menos orientados al DI, las ventas aumentaron en un promedio de 41 por ciento (Roy y Potter, 1993). Estudios más recientes han evaluado la eficacia del DI y su integración en el proceso de desarrollo del producto, y encontraron correlaciones positivas entre estas medidas de DI y el rendimiento financiero corporativo (Gemser y Leenders, 2001; Hertenstein *et al.*, 2005).

Para una decisión de un proyecto específico, hacer cálculos sencillos y análisis de sensibilidad puede ayudar a cuantificar los probables rendimientos económicos obtenidos por aplicar el DI. Por ejemplo, si al invertir en DI resultara un precio atractivo de 10 dólares más por unidad, ¿cuál sería el beneficio económico neto cuando se sume a las proyecciones originales de ventas de mercado? Del mismo modo, si al invertir en DI se obtuviera una mayor demanda del producto en 1 000 unidades por año, ¿cuál será el beneficio económico neto cuando se sume al precio original por unidad? Las estimaciones aproximadas de estos beneficios se pueden comparar con el costo esperado del trabajo del DI. Los modelos en hoja de cálculo se usan por lo común para esta clase de toma de decisiones financieras y pueden aplicarse con facilidad para estimar el tiempo esperado de recuperación del DI para un proyecto. (En el capítulo 17, Economía de desarrollo del producto, se describe un método para desarrollar este modelo financiero.)

¿En qué forma un diseño industrial establece una identidad corporativa?

La identidad corporativa se deriva “del estilo visual de una organización”, factor que afecta al posicionamiento de la empresa en el mercado (Olins, 1989). La identidad de una empresa surge principalmente a través de lo que las personas ven de ella. La publicidad, logotipos, señalización, uniformes, edificios, empaques, así como diseños de productos contribuyen a crear la identidad corporativa.

En empresas basadas en productos, el DI desempeña un importante papel en determinar la identidad de la empresa. El diseño industrial determina el estilo de un producto, que está directamente relacionado con la percepción del público hacia la empresa. Cuando los productos de una empresa mantienen un aspecto consistente y reconocible, se establece una *equidad visual*. Un aspecto y tacto consistentes pueden estar asociados con el color, forma, estilo y hasta características del producto. Cuando una empresa disfruta de una reputación positiva, esa equidad visual es valiosa porque puede crear una asociación positiva con calidad para fu-

turos productos. Algunas empresas que han usado con eficiencia el DI para establecer equidad visual e identidad corporativa a través de sus líneas de productos, son:

- ***Apple, Inc.:*** La Macintosh original tenía una forma vertical, pequeña, y un agradable color de ante. Este diseño dio intencionalmente al producto un aspecto amistoso para el usuario, nada amenazante, que desde entonces ha estado asociado con todos los productos Apple. Los diseños más recientes de Apple tienen líneas impresionantes e innovadores estilos en acabados plata, negro y blanco.
- ***Rolex Watch Co.:*** La línea de relojes Rolex mantiene un aspecto clásico y tacto sólido que significan calidad y prestigio.
- ***Braun GmbH:*** Los aparatos de cocina y máquinas de afeitar Braun tienen líneas esbeltas y colores básicos. El nombre Braun ha estado asociado por mucho tiempo a la sencillez y calidad.
- ***Bang & Olufsen a/s:*** Los sistemas electrónicos B&O de alta fidelidad están diseñados con líneas elegantes e impresionantes pantallas, lo que les da una imagen de innovación tecnológica.
- ***BMW AG:*** Los automóviles BMW, conocidos por sus detalles de lujo y rendimiento orientados al conductor, presentan líneas exteriores de estilo que han evolucionado lentamente, reteniendo la equidad asociada con la marca.
- ***Motorola, Inc.:*** Los teléfonos celulares originales MicroTAC y StarTAC fueron reconocidos como innovaciones en celulares de vanguardia de Motorola. El modelo más reciente, RAZR, también utiliza un concepto de aparato plegable en un factor de forma mucho más delgado, que destaca el liderazgo de Motorola en una industria que evoluciona rápidamente.

El proceso de diseño industrial

Muchas empresas grandes tienen departamentos internos de desarrollo industrial; las compañías pequeñas tienden a contratar servicios de DI proporcionados por empresas de consultoría. En cualquier caso, los diseñadores industriales deben participar totalmente en equipos interfuncionales de desarrollo de productos. Dentro de estos equipos, los ingenieros por lo general seguirán un proceso para generar y evaluar conceptos para las características técnicas de un producto. De un modo semejante, la mayoría de diseñadores industriales siguen un proceso para diseñar la estética y ergonomía del producto. Aun cuando este método puede variar dependiendo de la empresa y de la naturaleza del proyecto, los diseñadores industriales también generan múltiples conceptos y luego trabajan con ingenieros para reducir estas opciones a través de una serie de pasos de evaluación.

Específicamente, el proceso del diseño industrial se considera que está formado por las siguientes fases:

1. Investigación de las necesidades del cliente.
2. Conceptualización.
3. Refinamiento preliminar.
4. Refinamiento adicional y selección final del concepto.
5. Dibujos o modelos de control.
6. Coordinación con ingeniería, manufactura y vendedores externos.

En esta sección se analiza cada una de estas fases en orden, y en la siguiente se estudiará la programación de estas fases dentro del proceso general de desarrollo del producto.

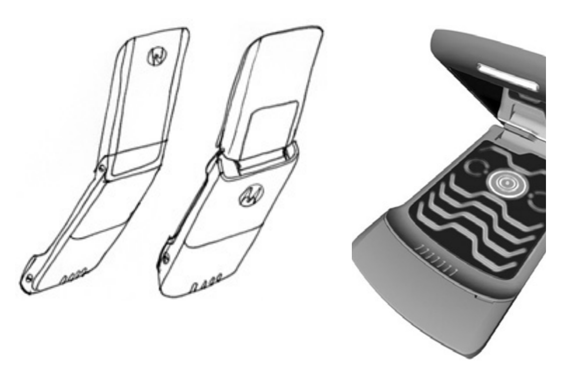
1. Investigación de necesidades del cliente

El equipo de desarrollo de un producto empieza por documentar las necesidades del cliente, como se describió en el capítulo 5, Identificación de las necesidades del cliente. Puesto que los diseñadores industriales son hábiles para reconocer problemas en donde existen interacciones, la intervención del DI es de suma importancia en el proceso de las necesidades. Por ejemplo, al investigar las necesidades del cliente para un nuevo instrumento médico, el equipo estudiaría en una sala de operaciones, entrevistaría médicos y dirigiría grupos de enfoque. Si bien la intervención de mercadotecnia, ingeniería y diseño industrial lleva a un entendimiento común y total de las necesidades del cliente para todo el equipo, en particular permite al diseñador industrial obtener un conocimiento íntimo de las interacciones entre el usuario y el producto.

A diferencia de numerosos trabajos de desarrollo, el proyecto RAZR no se apoyó principalmente en equipos de enfoque o en una investigación de mercado formal. Motorola pensó que el alto nivel de secreto que rodeaba al proyecto, y la dificultad para obtener opiniones de clientes sobre productos de la siguiente generación, hizo imprácticas estas técnicas. En lugar de eso, el equipo utilizó en gran medida las opiniones de empleados de Motorola para entender la evolución de las necesidades del usuario. El personal de mercadotecnia destacó la importancia del liderazgo de Motorola en factor de forma y estilo. Ingeniería dio información sobre limitaciones técnicas que comprendían materiales y geometría de componentes. La investigación de Motorola sobre percepciones de calidad de consumidores de teléfonos celulares dejó ver que mientras el peso ligero era deseable, la densidad del teléfono también era de gran importancia, resultando en una especificación objetivo para densidad total.

2. Conceptualización

Una vez entendidas las necesidades del cliente y las limitantes, los diseñadores industriales ayudan al equipo a conceptualizar el producto. Durante la etapa de generación de un concepto, los ingenieros naturalmente enfocan su atención en hallar soluciones a las subfunciones técnicas del producto. (Vea el capítulo 7, Generación de conceptos.) En ese momento, los diseñadores industriales se concentran en crear la forma del producto y las interfases del usuario. Los diseñadores industriales hacen dibujos sencillos, conocidos como *bosquejos*, de cada concepto. Estos bosquejos son un medio rápido y de bajo costo para expresar ideas y evaluar posibilidades. La figura 11-4 muestra dos de esos bosquejos del proyecto RAZR.



Cortesía de Motorola Inc.

FIGURA 11-4 Dos rápidos bosquejos de concepto (izquierda) y una ilustración más detallada en color (derecha) que muestran la evolución del concepto RAZR.

Los conceptos propuestos pueden entonces compararse y combinarse con las soluciones técnicas bajo exploración. Los conceptos se agrupan y son evaluados por el equipo de acuerdo con las necesidades del cliente, factibilidad técnica, costo y consideraciones de manufactura. (Vea el capítulo 8, Selección de conceptos.)

Es desafortunado que en algunas empresas los diseñadores industriales trabajen por completo independientes de ingeniería. Cuando esto ocurre, el diseño industrial podría

proponer conceptos que comprenden estrictamente forma y estilo, y por lo general hay numerosas iteraciones cuando ingeniería encuentra los conceptos técnicamente irrealizables. En consecuencia, las empresas han encontrado conveniente coordinar estrechamente el trabajo de diseñadores industriales e ingenieros en toda la fase de desarrollo del concepto, de modo que estas iteraciones se puedan lograr con mayor rapidez incluso en forma de bosquejo.

3. Refinamiento preliminar

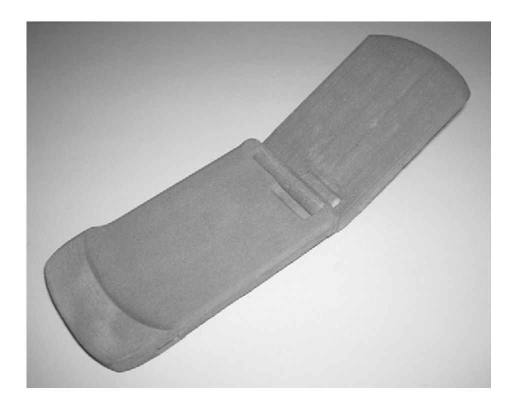
En la fase de refinamiento preliminar, los diseñadores industriales construyen modelos de los conceptos más prometedores. De ordinario se hacen *modelos suaves* a escala total usando espuma o tabla con núcleo de espuma. Éste es el segundo método más rápido, sólo un poco más lento que los bosquejos que se emplean para evaluar conceptos.

Aunque en general son bastante aproximados, estos modelos son una ayuda muy valiosa porque permiten que el equipo de desarrollo exprese y visualice conceptos del producto en tres dimensiones. Los conceptos son evaluados por diseñadores industriales, ingenieros, personal de mercadotecnia y, a veces, clientes potenciales en el proceso de tocar, sentir y modificar los modelos. Típicamente, los diseñadores construirán tantos modelos como sea posible, dependiendo del tiempo y límites financieros. Los conceptos en especial difíciles de visualizar requieren más modelos que los conceptos más sencillos.

Los diseñadores industriales del RAZR emplearon numerosos modelos suaves para evaluar el tamaño total, proporción y forma de muchos conceptos propuestos. De particular interés fue sentir el producto en la mano y contra el rostro. Estos atributos pueden evaluarse sólo con el uso de modelos físicos. Un modelo suave del proyecto RAZR, hecho con el uso de tecnología rápida de prototipos, se ilustra en la figura 11-5.

4. Más refinamiento y selección final del concepto

En esta etapa, los diseñadores industriales a veces cambian de modelos suaves y bosquejos a modelos duros y dibujos de información intensiva conocidos como *ilustraciones*. Las ilustraciones muestran los detalles del diseño y con frecuencia describen el producto en uso. Trazados en dos o tres dimensiones, contienen gran cantidad de información acerca del producto.





Cortesía de Motorola Inc.

FIGURA 11-5 Un modelo suave (izquierda) y un modelo duro (derecha) empleados por diseñadores industriales del RAZR para estudiar formas alternativas.

Las ilustraciones se usan a veces para estudios en color y para probar la recepción de clientes a las características y funcionalidad del producto propuesto. Una ilustración del proyecto RAZR se muestra en la figura 11-4.

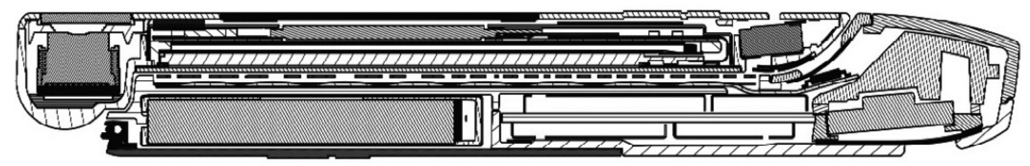
El paso final de refinamiento antes de seleccionar un concepto es crear *modelos duros.* Estos modelos no son todavía funcionales desde el punto de vista técnico, pero son réplicas cercanas del diseño final con un aspecto y tacto muy realistas. Se hacen de madera, espuma densa, plástico o metal; se pintan y se les da textura, y tienen algunas funciones "que trabajan", como botones que se presionan o cursores que se mueven. Debido a que un modelo duro puede costar cientos de dólares, el equipo de desarrollo de un producto por lo general tiene presupuesto para hacer sólo unos cuantos.

Para muchos tipos de productos, los modelos duros se fabrican con el tamaño, densidad, distribución de peso, acabado superficial y color pretendidos. Los modelos duros pueden entonces usarse por diseñadores industriales e ingenieros para refinar más las especificaciones finales del concepto. Además, estos modelos también se pueden usar para obtener retroalimentación adicional de clientes en equipos de enfoque, para publicitar y promover el producto en exposiciones comerciales, así como para vender el concepto a la alta administración de una empresa.

La figura 11-5 muestra uno de varios modelos duros construido durante el proceso de desarrollo del RAZR. Una extensa prueba de uso se inició con modelos duros del RAZR. Las pruebas identificaron la necesidad de botones más grandes del teclado en un teléfono más delgado. Los diseñadores también se dieron cuenta de la necesidad de situar los botones de control de volumen en el lado de la caja de la pantalla, para un acceso más fácil cuando estuviera abierto, en lugar de en el lado de la caja del teclado. También hallaron que esta ubicación requería de que la funcionalidad +/– de estos botones se invirtiera cuando se abriera el teléfono.

5. Dibujos o modelos de control

Los diseñadores industriales completan su proceso de desarrollo al hacer *dibujos de control* o *modelos de control* del concepto final. Los dibujos o modelos de control documentan la funcionalidad, características, tamaños, colores, acabados superficiales y dimensiones clave. Aun cuando no son dibujos detallados de piezas (conocidos como dibujos de ingeniería), se pueden usar para fabricar modelos finales del diseño y otros prototipos. Típicamente, estos dibujos o modelos se dan al equipo de ingeniería para el diseño detallado de las partes. La figura 11-6 muestra una vista del modelo de control del diseño final del RAZR.



Cortesía de Motorola Inc.

FIGURA 11-6 Vista lateral del modelo de control del RAZR que define la forma y dimensiones finales del RAZR.

6. Coordinación con ingeniería, manufactura y vendedores externos

Los diseñadores industriales deben continuar trabajando estrechamente con personal de ingeniería y manufactura en todo el proceso subsiguiente de desarrollo del producto. Algunas empresas de consultoría de diseño industrial ofrecen servicios completos de desarrollo de productos, incluyendo diseño detallado de ingeniería y la selección y manejo de vendedores externos de materiales, equipamiento, componentes y servicios de ensamble.

El impacto de herramientas basadas en computadora en el proceso del diseño industrial

Desde la década de 1990, las herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) habían tenido una considerable impresión en diseñadores industriales y su trabajo. Con el uso de modernas herramientas CAD 3D, los diseñadores industriales pueden generar, exhibir y modificar rápidamente diseños tridimensionales en pantallas de computadora de alta resolución. De este modo, el DI puede potencialmente generar un gran número de conceptos detallados con mayor rapidez, lo cual puede llevar a soluciones de diseño más innovadoras. El realismo visual de imágenes CAD 3D puede mejorar la comunicación dentro del grupo de desarrollo del producto y reducir mucho la imprecisión de los bosquejos generados a mano que históricamente hacían diseñadores industriales (Cardaci, 1992). Además, los sistemas CAD 3D pueden usarse para generar modelos o dibujos de control y estos datos pueden transferirse directamente a sistemas de diseño de ingeniería, permitiendo así que todo el proceso de desarrollo se integre con más facilidad. La figura 11-7 muestra un modelo CAD 3D del RAZR.

Manejo del proceso de diseño industrial

Con frecuencia el diseño industrial participa en el proceso total de desarrollo del producto en varias fases. La programación del trabajo del diseño industrial depende de la naturaleza del producto que está siendo diseñado. Para explicar la programación del trabajo del DI, es conveniente clasificar los productos en productos motivados por tecnología y productos motivados por el usuario.



Cortesía de Motorola Inc.

FIGURA 11-7 Imagen de concepto en CAD 3D creada usando software Pro/ENGINEER.

- ***Productos motivados por tecnología:*** La característica básica de un producto motivado por tecnología es que su beneficio principal se basa en la tecnología que usa, o en su capacidad de realizar un trabajo técnico específico. Si bien este producto puede tener importantes requisitos estéticos o ergonómicos, es muy probable que los consumidores compren el producto principalmente por su rendimiento técnico. Por ejemplo, la unidad de disco duro de una computadora está en gran medida motivada por tecnología. Se deduce que para el grupo de desarrollo de un producto motivado por tecnología, los requisitos técnicos o de ingeniería serán de máxima importancia y dominarán el trabajo de desarrollo. De conformidad con esto, el papel del diseño industrial está con frecuencia limitado a empacar la tecnología central. Esto implica determinar el aspecto ex-

terno del producto y garantizar que éste comunique sus funciones tecnológicas y modos de interacción al usuario.

- ***Productos motivados por el usuario:*** El beneficio principal de un producto motivado por el usuario se deriva de la funcionalidad de su interfase y/o de su atractivo estético. De ordinario, hay un alto grado de interacción del usuario con estos productos. De acuerdo con esto, las interfases del usuario deben ser seguras y fáciles de usar y de mantener. El aspecto externo del producto es a veces importante para diferenciarlo y crear orgullo de propiedad. Por ejemplo, una silla de oficina es en gran medida motivada por el usuario. Mientras estos productos pueden ser técnicamente refinados, la tecnología no diferencia el producto; así, para el grupo de desarrollo del producto, las consideraciones del DI serán más importantes que los requisitos técnicos. El papel de la ingeniería todavía puede ser importante para determinar cualquier característica técnica del producto; no obstante, como es frecuente que la tecnología ya se encuentre establecida, el grupo de desarrollo se concentra en los aspectos del usuario del producto.

La figura 11-8 clasifica una variedad de productos familiares. Raras veces un producto pertenece a uno de los dos extremos. En cambio, casi todos los productos caen en algún punto a lo largo del continuo. Estas clasificaciones pueden ser dinámicas. Por ejemplo, cuando una compañía desarrolla un producto con base en una nueva tecnología interna, es frecuente que se interese en llevar el producto al mercado en forma tan rápida como sea posible. Dado que se da poca importancia a cómo se ve o se usa el producto, el papel inicial del DI es pequeño. No obstante, a medida que la competencia entra en el mercado, el producto puede necesitar competir más a lo largo de dimensiones del usuario o de la estética. Cambia entonces la clasificación original del producto y el DI toma un papel extremadamente importante en el proceso de desarrollo. Un ejemplo clásico es la computadora portátil MacBook de Apple. El beneficio interno de la primera computadora portátil de Apple fue su tecnología (una computadora portátil que usa el sistema operativo Macintosh), pero cuando la competencia entró en este mercado, Apple se apoyó principalmente en el DI para crear atractivo estético y más utilidad, que se agregaron a las ventajas técnicas de modelos subsiguientes.

Programación de la participación del diseño industrial

De ordinario, el DI se incorpora en el proceso de desarrollo del producto durante las últimas fases para un producto motivado por la tecnología y en todo el proceso para un producto motivado por el usuario. La figura 11-9 ilustra estas diferencias de programación. Nótese que el DI

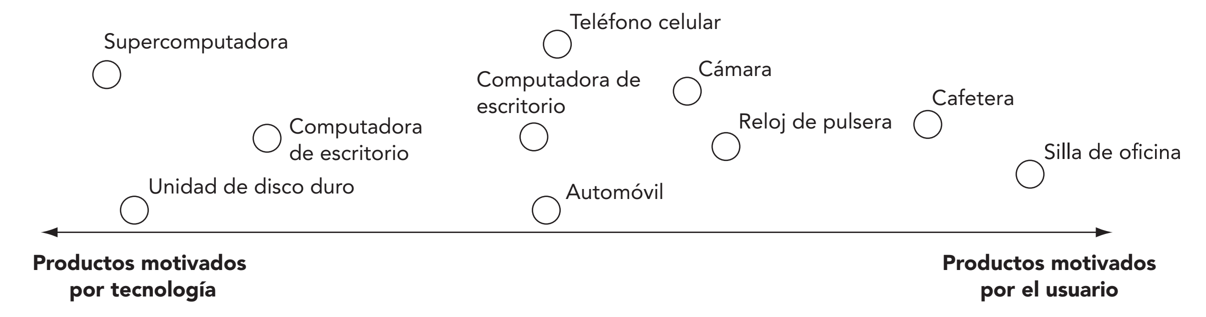


FIGURA 11-8 Clasificación de algunos productos comunes en el continuo del producto motivado por tecnología al producto motivado por el usuario.

es un subproceso del proceso de desarrollo del producto; es paralelo pero no separado. Como se ve en la figura, el proceso del DI descrito líneas antes puede ser rápido con respecto al proceso de desarrollo total. La naturaleza técnica de los problemas a los que se enfrentan los ingenieros en sus actividades de diseño suele demandar mucho más trabajo de desarrollo que los problemas considerados en el diseño industrial.

La figura 11-9 muestra que para un producto motivado por tecnología, las actividades del DI pueden empezar más bien tarde en el programa. Esto es porque el DI para estos productos se enfoca sobre todo en problemas de empaque. Para un producto motivado por el usuario, el DI interviene en forma mucho más completa. De hecho, el DI puede dominar el proceso general de desarrollo del producto para numerosos productos motivados por el usuario.

La figura 11-10 describe las responsabilidades del DI durante cada fase del proceso de desarrollo del producto y cómo se relacionan con las otras actividades del grupo de desarrollo. Al igual que con la programación de la participación del DI, las responsabilidades de éste también pueden cambiar de acuerdo con el tipo de producto.

Evaluación de la calidad del diseño industrial

La evaluación de la calidad del DI para un producto terminado es una tarea inherentemente subjetiva. No obstante, podemos determinar de manera cualitativa si el DI ha logrado sus objetivos al considerar cada aspecto del producto que está influido por el DI. A continuación veremos cinco categorías para evaluar un producto. Estas categorías comparan de un modo aproximado las cinco metas críticas de Dreyfuss para el DI, que ya se habían presentado. Usamos estas categorías para plantear preguntas específicas, permitiendo así que el producto sea calificado a lo largo de cinco dimensiones. La figura 11-11 demuestra este método al mostrar resultados para el RAZR.

1. Calidad de interfase del usuario

Ésta es una calificación de qué tan fácil es usar el producto. La calidad de interfase está relacionada con el aspecto, tacto y modos de interacción del usuario con el producto.

- ¿Las características del producto comunican eficazmente sus operaciones al usuario?
- ¿Es intuitivo el uso del producto?
- ¿Son seguras todas las funciones?
- ¿Se han considerado todos los usuarios potenciales y todos los usos del producto?

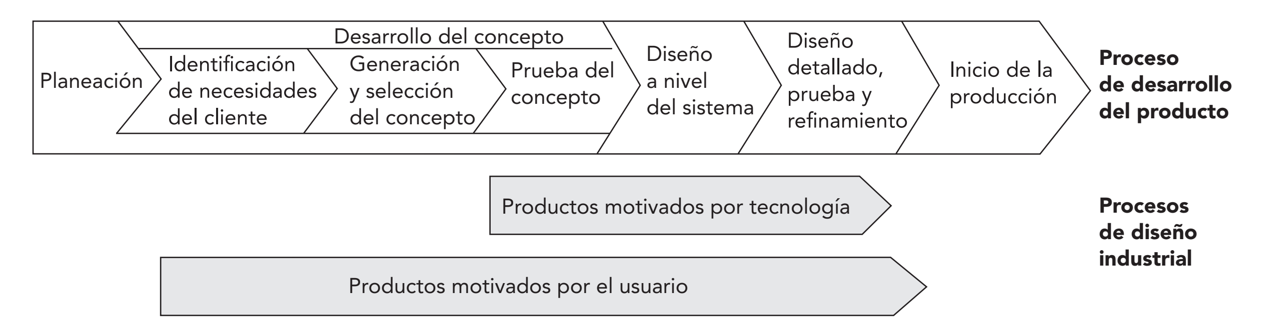


FIGURA 11-9 Programación relativa del proceso de diseño industrial para dos tipos de productos.

Actividad de desarrollo del producto	Tipo de producto	
	Motivado por tecnología	**Motivado por el usuario**
Identificación de necesidades del cliente	El DI típicamente no tiene intervención.	El DI funciona estrechamente con mercadotecnia para identificar necesidades del cliente. Los diseñadores industriales participan en equipos de enfoque o entrevistas personales con clientes.
Generación y selección del concepto	El DI funciona con mercadotecnia e ingeniería para garantizar que se resuelvan problemas de factores humanos e interfase de usuario. Los problemas de seguridad y mantenimiento son a veces de gran importancia.	El DI genera múltiples conceptos de acuerdo con el flujo de proceso de diseño industrial descrito antes.
Prueba del concepto	El DI ayuda a ingeniería a crear prototipos que se muestran a clientes para retroalimentación.	El DI lleva a la creación de modelos a ser probados con clientes por mercadotecnia.
Diseño a nivel del sistema	El DI típicamente no tiene intervención.	El DI reduce los conceptos y refina los métodos más prometedores.
Diseño detallado, prueba y refinamiento	El DI es responsable de empacar el producto una vez resueltos los detalles de ingeniería. El DI recibe especificaciones del producto y limitaciones de ingeniería y mercadotecnia.	El DI selecciona un concepto final, luego se coordina con ingeniería, manufactura y mercadotecnia para finalizar el diseño.

FIGURA 11-10 La función del diseño industrial de acuerdo con el tipo de producto.

Algunos ejemplos de preguntas específicas sobre el producto son:

- ¿El aparato es cómodo al sujetarlo?
- ¿El botón de control se mueve con facilidad y suavidad?
- ¿Es fácil hallar el interruptor de energía?
- ¿Es fácil leer y entender la pantalla?

2. Atractivo emocional

Ésta es una calificación del atractivo total del producto para el consumidor. El atractivo se logra en parte por su aspecto, tacto, sonido y olor.

- ¿El producto es atractivo? ¿Es sensacional?
- ¿El producto expresa calidad?
- ¿Qué imagen le viene a la mente al verlo?
- ¿El producto inspira orgullo de posesión?
- ¿El producto crea sentimiento de orgullo entre el grupo de desarrollo y el personal de ventas?

Algunos ejemplos de preguntas específicas sobre el producto son:

- ¿Cómo suena la puerta del automóvil al cerrarla con fuerza?
- ¿La herramienta manual se siente sólida y robusta?
- ¿El aparato se ve bien en el mostrador de la cocina?

Categoría de evaluación	Calificación de rendimiento (Baja – Media – Alta)	Explicación de calificación
1. Calidad de interfase del usuario	Media	En general, el RAZR es cómodo y fácil de usar. Las llamadas pueden contestarse con sólo abrir la pantalla, se pueden introducir números y texto con gran facilidad usando el teclado, y las funciones son de fácil acceso usando los botones de navegación. Los inconvenientes del RAZR incluyen un teclado que puede ser difícil de usar para clientes de dedos grandes o uñas largas. En algunos mercados, los usuarios han especificado que Motorola personaliza la interfase de software en formas que repercuten negativamente en el uso.
2. Atractivo emocional	Alta	El RAZR tiene un alto atractivo emocional que es resultado de su forma ultradelgada, facilidad para guardarlo en el bolsillo y sus acabados.
3. Capacidad para mantener y reparar el producto	Media-Alta	Aun cuando el mantenimiento y reparación no son de importancia principal para el cliente, el RAZR califica alto en esta categoría. La batería se carga rápidamente y se puede quitar y cambiar con facilidad.
4. Uso apropiado de recursos	Media-Alta	El diseño final incluye sólo las funciones que satisfacen necesidades reales del cliente. Los materiales se seleccionaron para tener durabilidad y facilidad de manufactura, resistir condiciones extremas, satisfacer reglamentos ambientales y crear un aspecto atractivo.
5. Diferenciación del producto	Alta	El aspecto del RAZR es claramente único. Es fácilmente identificado cuando se ve en lugares públicos o junto al producto de la competencia.

FIGURA 11-11 Evaluación del papel del diseño industrial en el proyecto de desarrollo del RAZR.

3. Capacidad de mantener y reparar el producto

Ésta es una calificación de la facilidad de mantener y reparar el producto. El mantenimiento y reparación deben ser considerados junto con las otras interacciones del usuario.

- ¿Es obvio cómo dar mantenimiento al producto? ¿Es fácil?
- ¿Las funciones del producto comunican de modo eficaz los procedimientos de ensamble y desensamble?

Algunos ejemplos de preguntas específicas sobre el producto son:

- ¿Qué tan fácil y obvio es arreglar un atasco de papel en la impresora?
- ¿Qué tan difícil es desensamblar y limpiar el procesador de alimentos?
- ¿Cuánto tarda el cambio de baterías del control remoto?

4. Uso apropiado de recursos

Ésta es una calificación de qué tan bien se usaron los recursos para satisfacer necesidades del cliente. Los recursos por lo general se refieren a gastos en dólares en DI y otras funciones. Estos factores tienden a elevar costos, por ejemplo manufactura. Un producto mal diseñado, uno con funciones innecesarias o un producto hecho de un material exótico afectarán al equipamiento, a los procesos de manufactura, a los procesos de ensamble y otros semejantes. En esta categoría se pregunta si estas inversiones se realizaron en forma correcta.

- ¿Qué tan bien se usaron los recursos para satisfacer los requisitos del cliente?
- ¿La selección del material es apropiada (en términos de costo y calidad)?
- ¿El producto tiene exceso o falta de diseño (tiene funciones no necesarias u olvidadas)?
- ¿Se consideraron factores ambientales y ecológicos?

5. Diferenciación del producto

Ésta es una calificación de la unicidad y consistencia del producto con la identidad corporativa. Esta diferenciación resulta de manera predominante del aspecto.

- Un cliente que ve el producto en una tienda ¿será capaz de identificarlo por su aspecto?
- ¿Será recordado por un consumidor que lo vea en un anuncio?
- ¿Será reconocido al verlo en la calle?
- ¿El producto se apega o mejora la identidad corporativa?

Desde la perspectiva del diseño industrial, como se ve en la figura 11-11, el RAZR fue un excelente producto. Fue novedoso, reconocible, durable, fácil de fabricar y tuvo fuerte atractivo para el cliente. Como estas características son sumamente importantes para el consumidor, el DI desempeñó un papel crítico en la determinación del éxito inmediato del producto en el mercado.

Resumen

Este capítulo introduce el tema del diseño industrial, explica sus beneficios a la calidad del producto e ilustra la forma en que tiene lugar el proceso del diseño industrial.

- La misión principal del DI es diseñar los aspectos de un producto que se relacionan con el usuario: estética y ergonomía.
- Casi todos los productos se pueden beneficiar en una forma u otra del DI. Cuanto más sea visto o usado un producto por las personas, más dependerá de un buen DI para su éxito.
- Para productos que se caracterizan por un alto grado de interacción del usuario y la necesidad de atractivo estético, el DI debe intervenir en todo el proceso de desarrollo del producto. Una temprana intervención de diseñadores industriales garantizará que la estética crítica y requisitos del usuario no serán omitidos por el personal técnico.

- Cuando el éxito de un producto se apoya más en tecnología, el DI puede integrarse en el proceso de desarrollo más adelante.
- Una activa participación del DI en el equipo de desarrollo del producto puede ayudar a promover una buena comunicación entre equipos funcionales. Esta comunicación facilita la coordinación y finalmente se traduce en productos de más alta calidad.

Referencias y bibliografía

Existen numerosos recursos actuales en internet **www.ulrich-eppinger.net**

Para más información acerca del diseño industrial, su historia, trascendencia, futuro y práctica, se recomiendan los siguientes libros y artículos. La breve historia del DI presentada en este capítulo fue adaptada del libro de Lorenz.

Caplan, Ralph, *By Design*: *Why There Are No Locks on the Bathroom Doors in the Hotel Louis XIV, and Other Object Lessons*, St. Martin's Press, Nueva York, 1982.

Dreyfuss, Henry, "The Industrial Designer and the Businessman," *Harvard Business Review*, noviembre de 1950, pp. 77-85.

Dreyfuss, Henry, *Designing for People*, Paragraphic Books, Nueva York, 1967.

Harkins, Jack, "The Role of Industrial Design in Developing Medical Devices," *Medical Device and Diagnostic Industry*, septiembre de 1992, pp. 51-54, 94-97.

Lorenz, Christopher, *The Design Dimension: Product Strategy and the Challenge of Global Marketing*, Basil Blackwell, Oxford, UK, 1986.

Lucie-Smith, Edward, *A History of Industrial Design*, Van Nostrand Reinhold, Nueva York, 1983.

Norman examina ejemplos buenos y malos del diseño de productos en toda una variedad de productos de consumo, y da principios y directrices para una buena práctica de diseño. En *Emotional Design*, explica la forma en que las personas se conectan y reaccionan con los productos que compran y usan.

Norman, Donald A., *The Design of Everyday Things*, Doubleday, Nueva York, 1990.

Norman, Donald A., *Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things*, Basic Books, Nueva York, 2004.

Boatwright y Cagan sostienen que muchos productos exitosos se diseñaron para relacionarse con los clientes mediante emociones fuertes y positivas.

Boatwright, Peter, y Jonathan Cagan, *Built to Love: Creating Products That Captivate Customers*, Berret-Koehler, San Francisco, 2010.

El diseño industrial asistido por computadora (CAID), introducido en este artículo por Cardaci, se ha convertido en una parte importante de la práctica del DI hoy en día, sustituyendo a las tradicionales ilustraciones en muchas situaciones.

Cardaci, Kitty, "CAID: A Tool for the Flexible Organization," *Design Management Journal*, Design Management Institute, Boston, vol. 3, núm. 2, primavera de 1992, pp. 72-75.

Los siguientes estudios están entre los muy pocos que han evaluado de manera crítica el valor del DI para los productos y sus fabricantes. Una edición de 1994 del *Design Management Journal* y otra de 2005 de la *Journal of Product Innovation Management* fueron dedicadas a este tema.

Design Management Journal, vol. 5, núm. 2, primavera de 1994.

Gemser, Gerda y Mark A. A. M. Leenders, "How Integrating Industrial Design in the Product Development Process Impacts on Company Performance," *Journal of Product Innovation Management*, vol. 18, núm. 1, enero de 2001, pp. 28-38.

Hertenstein, Julie H., Marjorie B. Platt y Robert W. Veryzer, "The Impact of Industrial Design Effectiveness on Corporate Financial Performance," *Journal of Product Innovation Management*, vol. 22, núm. 1, enero de 2005, pp. 3-21.

Journal of Product Innovation Management, vol. 22, núm. 1, enero de 2005.

Pearson, Scott, "Using Product Archaeology to Understand the Dimensions of Design Decision Making," S. M. Thesis, MIT Sloan School of Management, mayo de 1992.

Roy, Robin y Stephen Potter, "The Commercial Impacts of Investment in Design", *Design Studies*, vol. 14, núm. 2, abril de 1993, pp. 171-193.

Olins describe cómo una empresa desarrolla una identidad corporativa por medio de diseño y comunicación.

Olins, Wally, *Corporate Identity: Making Business Strategy Visible through Design*, Harvard Business School Press, Boston, 1989.

Varios y excelentes casos prácticos que comprenden el proceso del DI, así como problemas de desarrollo del producto que rodean al DI, han sido escritos por el Design Management Institute. También las publicaciones *@Issue* (semestral), *Innovation* (trimestral) e *I.D.* (bimestral) incluyen casos prácticos, ejemplos y análisis de prácticas de diseño industrial.

@ Issue: The Journal of Business and Design, Corporate Design Foundation, Boston.

Design Management Institute, Boston, www.dmi.org.

I.D. Magazine, F + W Publications, Inc., Nueva York.

Innovation, Industrial Designers Society of America, Dulles, VA.

Mientras que diseñadores industriales se encuentran mejor por medio de referencia personal, la IDSA publica una lista de empresas y consultores de diseño industrial.

Industrial Designers Society of America, Dulles, VA, www.idsa.org.

Ejercicios

1. Visite una tienda local especializada (por ejemplo en artículos de cocina, herramientas, artículos para oficina, regalos) y tome fotografías de (o compre) un juego de productos de la competencia. Evalúe cada uno en términos de las cinco categorías de calidad del DI como se ve en la figura 11-11. ¿Cuál producto compraría usted? ¿Estaría dispuesto a pagar más por este producto que por los otros?
2. Desarrolle un bosquejo de varios conceptos para un producto común. Trate de diseñar la forma del producto "desde dentro" y "desde afuera". ¿Cuál es más fácil para usted? Unos productos simples podrían ser una engrapadora, un exprimidor de ajos, un reloj despertador, una lámpara para lectura y un teléfono.
3. Haga una lista de empresas que piense que tienen fuerte identidad corporativa. ¿Qué aspectos de sus productos ayudaron a desarrollar esta identidad?

Preguntas de análisis

1. ¿Por medio de qué mecanismo de causa y efecto el DI afecta al costo de manufactura de un producto? ¿Bajo qué condiciones el DI aumentaría o disminuiría el costo de manufactura?
2. ¿Qué tipos de productos podrían no beneficiarse de la participación del DI en el proceso de desarrollo?
3. El término *equidad visual* se usa a veces para referirse al valor del aspecto distintivo de productos de una empresa. ¿Cómo se obtiene esa equidad? ¿Puede ser "comprada" en un corto periodo o se acumula lentamente?

CAPÍTULO DOCE

Diseño para el ambiente



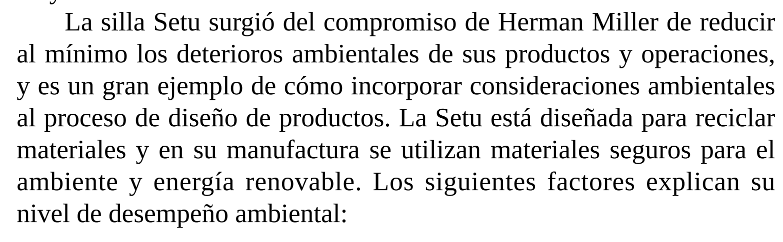
Cortesía de Herman Miller, Inc.

FIGURA 12-1 Tres sillas de la línea de productos de oficina de Herman Miller. De izquierda a derecha: Aeron (1994), Mirra (2004) y Setu (2009).

En junio de 2009, Herman Miller, Inc., fabricante de muebles de oficina con sede en Estados Unidos, lanzó la silla multifuncional Setu. La Setu (que en hindi significa “puente”) pretende implantar nuevos estándares de sencillez, adaptabilidad y comodidad para sentarse en posiciones variadas, además de ser amigable con el ambiente. La silla Setu es un producto de una línea muy exitosa de sillas para oficina, entre ellas la Aeron y la Mirra que se aprecian en la figura 12-1.

Herman Miller diseñó la silla en colaboración con Studio 7.5, empresa diseñadora ubicada en Alemania. Las sillas multifuncionales, como la Setu, son útiles en lugares donde la gente se sienta durante periodos más o menos breves, como salas de conferencias, lugares de labor temporales y espacios para trabajar en equipos. (A diferencia de una silla de trabajo, que se ocupa por periodos más largos.) Studio 7.5 observó que muchas sillas utlizadas en la oficina donde la gente pasaba desde algunos cuantos minutos hasta pocas horas eran incómodas y estaban mal ajustadas. Además, la mayoría de las sillas están hechas con materiales y procesos que resultan perjudiciales para el ambiente. Studio 7.5 reconoció la necesidad de mercado de una silla multifuncional nueva e innovadora que combinase comodidad, diseño para el ambiente y un precio atractivo.

Lo esencial de la Setu es una columna flexible, moldeada con dos materiales de polipropileno y diseñada para dar comodidad a casi toda la gente (vea la figura 12-2). Cuando el usuario se sienta y se reclina, la columna se flexiona para darle comodidad y apoyo a la espalda en toda la trayectoria de inclinación. Sin ningún mecanismo de inclinación y sólo un ajuste (altura), la silla es significativamente más ligera, menos complicada y más barata que las sillas de trabajo Aeron y Mirra.



La silla Setu surgió del compromiso de Herman Miller de reducir al mínimo los deterioros ambientales de sus productos y operaciones, y es un gran ejemplo de cómo incorporar consideraciones ambientales al proceso de diseño de productos. La Setu está diseñada para reciclar materiales y en su manufactura se utilizan materiales seguros para el ambiente y energía renovable. Los siguientes factores explican su nivel de desempeño ambiental:

- ***Materiales ambientalmente adecuados:*** La silla multifuncional Setu consta de materiales sanos para el ambiente y no tóxicos: 41 por ciento (del peso) de aluminio, 41 por ciento de polipropileno y 18 por ciento de acero.
- ***Contenido reciclado:*** La Setu consta de 44 por ciento de materiales reciclados (por peso, representa 23 por ciento de contenido posterior al consumidor y 21 por ciento posterior a su paso por la manufactura).
- ***Capacidad de reciclamiento:*** La Setu es 92 por ciento reciclable (por peso) al final de su vida útil. Sus componentes de acero y aluminio son 100 por ciento reciclables. Los componentes de polipropileno se identifican con un código de reciclado siempre que se pueda ayudar a regresarlos al flujo de reciclaje. (Desde luego, el reciclamiento de materiales industriales depende de la disponibilidad de dichos flujos de reciclado.)
- ***Energía limpia:*** La Setu se fabrica en una línea de producción que consume 100 por ciento de energía verde (la mitad son turbinas eólicas y la otra mitad son gases captados en tiraderos a cielo abierto).



Cortesía de Herman Miller, Inc.

FIGURA 12-2 La columna de la silla Setu es una combinación de dos materiales de polipropileno diseñada con precisión para flexionarse y brindar apoyo cuando el usuario se mueve en la silla.

- ***Emisiones:*** En la producción de la Setu no se liberan emisiones dañinas al aire ni al agua.
- ***Empaque retornable y reciclable:*** Herman Miller recibe los componentes de la Setu de una red de proveedores cercanos en bandejas moldeadas que se regresan a los proveedores para usarlas de nuevo. Entre los materiales para el empacamiento final se encuentran cartón corrugado y una bolsa de polietileno plástico, los cuales son susceptibles de reciclamientos repetidos.

El diseño para el ambiente (DPA) es una forma de incluir consideraciones ambientales en el proceso de desarrollo del producto. Este capítulo presenta un método para el DPA, con la silla Setu de Herman Miller como ejemplo para ilustrar la aplicación fructífera del proceso del DPA.

¿Qué es el diseño para el ambiente?

Todo producto tiene repercusiones en el ambiente. El DPA representa para las empresas un método práctico de reducir tales secuelas en un esfuerzo por crear una sociedad más sustentable. Igual que se ha mostrado que el diseño para manufactura (DPM) eficaz conserva o mejora la calidad del producto al tiempo que reduce costos (vea el capítulo 13, Diseño para manufactura), quienes aplican el DPA también han descubierto que una práctica eficaz del DPA conserva o mejora la calidad y el costo del producto al tiempo que reduce sus efectos en el ambiente.

Entre las secuelas ambientales de un producto pueden encontrarse consumo de energía, agotamiento de recursos naturales, descargas líquidas, emisiones de gases y generación de desechos sólidos. Estas derivaciones se clasifican en dos categorías amplias: energía y materiales, y ambas representan problemas ambientales neurálgicos que requieren solución. En la mayoría de los productos, abordar el problema de la energía significa elaborar productos que consuman menos energía y que usen energía renovable. Resolver el problema de los materiales no es sencillo. Por lo tanto, gran parte de la atención del DPA en este capítulo se dedica a elegir los materiales correctos para los productos y asegurarse de que sean reciclables.

Durante las primeras etapas del proceso de desarrollo del producto, las decisiones deliberadas sobre el uso de materiales, eficiencia de energía y elusión de los desechos reducen o eliminan los efectos ambientales. Sin embargo, una vez establecido el concepto del diseño, mejorar el desempeño ambiental suele implicar iteraciones de diseño que consumen tiempo. De este modo, el DPA puede entrañar actividades a lo largo del proceso de desarrollo del producto y requiere un enfoque interdisciplinario. El diseño industrial, ingeniería, adquisiciones y mercadotecnia trabajan en conjunto en el desarrollo de productos adecuados al ambiente. En muchos casos, los profesionales de desarrollo de productos con una capacitación especializada en DPA dirigen las acciones de un proyecto de DPA. No obstante, los miembros de un equipo de desarrollo de productos se benefician al entender los principios del DPA.

Dos ciclos de vida

La idea del ciclo de vida es la base del DPA. Esto ayuda a expandir la preocupación tradicional del fabricante con la producción y distribución de sus productos para abarcar un sistema de bucle cerrado que enlace el ciclo de vida del producto con el ciclo de vida natural, los cuales se ilustran en la figura 12-3. El ciclo de vida del producto comienza con la extracción y procesamiento de las materias primas a partir de recursos naturales, seguido de la producción, distri-

bución y uso del producto. Por último, al final de la vida útil del producto hay varias opciones de recuperación: una nueva fabricación o un nuevo uso de los componentes, reciclado de materiales o desecho mediante incineración o depósito en un tiradero a cielo abierto. El ciclo de vida natural representa el auge y deterioro de los materiales orgánicos en un bucle continuo. Los dos ciclos de vida se intersecan, como se ve en el diagrama, con el uso de materiales orgánicos en productos industriales y con la reintegración de dichos materiales al ciclo natural.

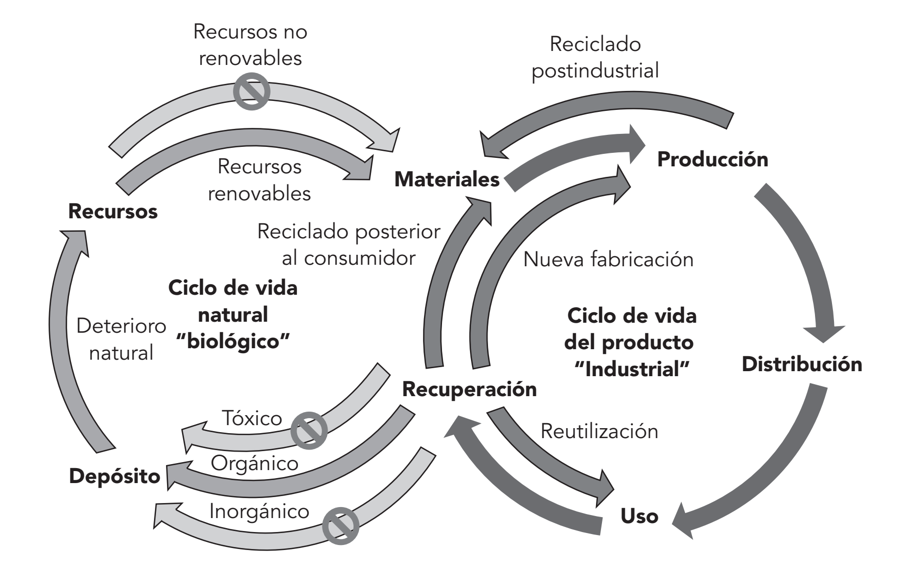
Si bien la mayoría de los ciclos de vida de los productos transcurren en unos cuantos meses o años, el ciclo natural abarca periodos más extensos. La mayoría de los materiales orgánicos (de plantas y animales) se deterioran pronto para convertirse en nutrientes para el crecimiento nuevo de materiales semejantes. Sin embargo, otros materiales naturales (como los minerales) se crean en una escala temporal mucho más larga, por lo que se les considera recursos naturales no renovables. Por lo tanto, depositar la mayor parte de los materiales industriales de origen mineral en tiraderos a cielo abierto no regenera con rapidez materiales industriales semejantes hasta que pasen quizá miles de años (y a menudo en concentraciones no naturales de ciertos desechos perjudiciales).

Cada etapa del ciclo de vida del producto puede consumir energía y otros recursos y también generar emisiones y desechos, de lo cual se derivan alteraciones ambientales. Desde esta perspectiva de ciclo de vida, a fin de propiciar condiciones de sustentabilidad ambiental, los materiales de productos deben equilibrarse en un sistema sustentable de bucle cerrado. De esto surgen tres retos para que el diseño de productos sea sustentable, que también se representan en el diagrama del ciclo de vida de la figura 12-3.

1. Eliminar el uso de recursos naturales no renovables (incluso fuentes no renovables de energía).
2. Descartar el desecho de materiales sintéticos e inorgánicos que tardan en descomponerse.
3. Excluir la creación de desechos tóxicos ajenos a los ciclos de vida naturales.

Las organizaciones comprometidas con el DPA trabajan para alcanzar estas condiciones de sustentabilidad con el tiempo. El DPA ayuda a estas organizaciones a crear mejores pro-

FIGURA 12-3 Ciclo de vida natural y ciclo de vida del producto.



ductos al elegir con cuidado los materiales y permitir opciones adecuadas de recuperación, de modo que los materiales de los productos se reintegren al ciclo de vida del producto o al ciclo de vida natural.

Efectos ambientales

Todo producto puede generar varios efectos ambientales durante su ciclo de vida. La lista siguiente explica algunas secuelas ambientales derivadas del sector manufacturero (adaptado de Lewis *et al.*, 2001):

- ***Calentamiento global:*** Los datos y modelos científicos muestran que la temperatura de la Tierra aumenta de forma gradual como resultado de la acumulación de gases tipo invernadero, partículas suspendidas y vapor de agua en la atmósfera superior. Este efecto parece acelerarse como resultado de emisiones de bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), clorofluorocarbonos (CFC), partículas negras de carbón y óxidos de nitrógeno (NO_x) de procesos y productos industriales.
- ***Agotamiento de recursos:*** Muchas materias primas para la producción —como minerales de hierro, gas, petróleo y carbón— no son renovables y sus reservas son limitadas.
- ***Desechos sólidos:*** Los productos pueden generar desechos sólidos durante su ciclo de vida. Una parte de estos desperdicios se recicla, pero en su mayoría se depositan en incineradores o tiraderos a cielo abierto. Los incineradores generan contaminación del aire y cenizas tóxicas (que van a los tiraderos). Los tiraderos a cielo abierto producen concentraciones de sustancias tóxicas, generan gas metano (CH_4) y liberan contaminantes hacia los mantos freáticos.
- ***Contaminación del agua:*** Las fuentes más comunes de contaminación del agua son las descargas de procesos industriales, que pueden incluir metales pesados, fertilizantes, solventes, aceites, sustancias sintéticas, ácidos y sólidos suspendidos. Los contaminantes en el agua pueden afectar los mantos freáticos, el agua potable y los ecosistemas frágiles.
- ***Contaminación del aire:*** Entre las fuentes de contaminación del aire se encuentran las emisiones de fábricas, plantas generadoras de energía, incineradores, edificios residenciales y comerciales, y vehículos automotores. Los contaminantes habituales son bióxido de carbono (CO_2), óxido de nitrógeno (NO_x), bióxido de azufre (SO_2), ozono (O_3) y compuestos orgánicos volátiles (COV).
- ***Degradación de la tierra:*** La degradación de la tierra se refiere a los efectos adversos que tienen en el ambiente la extracción y producción de materias primas, como minería, cultivos y silvicultura. Las repercusiones son una menor fertilidad de la tierra cultivable, erosión del suelo, salinidad de tierras y agua, y deforestación.
- ***Biodiversidad:*** La biodiversidad se refiere a la diversidad de especies vegetales y animales, y se ve afectada por la deforestación de terrenos para el desarrollo urbano, la minería y otras actividades industriales.
- ***Agotamiento de la capa de ozono:*** La capa de ozono protege a la Tierra de los efectos dañinos de la radiación solar. Se degrada por las reacciones con el ácido nítrico (creado por la quema de combustibles fósiles) y compuestos clorados (como los CFC).

Historia del diseño para el ambiente

El origen del DPA suele ubicarse a principios de la década de 1970. Papanek (1971) retó a los diseñadores para que enfrentasen sus responsabilidades sociales y ambientales en lugar de

sólo perseguir sus intereses comerciales. El *Brundtland Report* (1987), de la Comisión Mundial para el Ambiente y el Desarrollo (World Commission on Environment and Development), definió por primera vez el término “desarrollo sustentable” como “un desarrollo que satisfaga las necesidades del presente sin poner en riesgo la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus necesidades”.

En la década de 1990 se publicaron varios libros influyentes sobre diseño adecuado al ambiente. Burall (1991) sostenía que ya no había ningún conflicto entre un enfoque verde para diseñar y el éxito económico. Fiksel (1996; revisada, 2009) analizó cómo el DPA integra la idea del ciclo de vida al desarrollo de nuevos productos y procesos. Conforme maduraba el proceso del DPA, Brezet y Van Hemel (1997) elaboraron una directriz práctica llamada *Ecodesign*. También en la década de 1990, la Technical University of Delft, Philips Electronics y el gobierno holandés colaboraron en el desarrollo de una herramienta de software para el análisis del ciclo de vida que proporciona medidas para una evaluación general del efecto ambiental de un producto.

El movimiento de desarrollo sustentable actual hace suyo el concepto más amplio de diseño sustentable de productos (Bhamra y Lofthouse, 2007), que abarca no sólo al DPA sino también las implicaciones sociales y éticas de los productos. Aunque los autores aplican una terminología diversa para los planteamientos de diseño adecuados al ambiente, los términos *diseño verde*, *ecodiseño*, *diseño sustentable* y *DPA* son más o menos sinónimos en la actualidad.

El periplo de Herman Miller hacia el diseño para el ambiente

Muchas empresas fabricantes ya comenzaron a adoptar el DPA. Sin embargo, pocas lo han hecho al grado de Herman Miller, en donde el DPA es central para su estrategia corporativa. Herman Miller se esfuerza por mantener elevados estándares de calidad del producto al tiempo que incorpora cada vez más materiales, procesos de manufactura y funciones de productos adecuados al ambiente en todo diseño nuevo de productos.

En 1999, Herman Miller formó un equipo de diseño para el ambiente (DPA). Este equipo es responsable de desarrollar estándares de diseño sensibles ambientalmente para productos de Herman Miller nuevos y existentes. McDonough Braungart Design Chemistry (MBDC), empresa de diseño de procesos de productos e industriales con sede en Virginia, apoya la misión del equipo de DPA. McDonough y Braungart (2002) declaran en su libro *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things* que el enfoque tradicional de DPA —diseñar productos apenas menos dañinos para el ambiente en virtud de mejoras como un menor uso de energía, generación de desechos o uso de materiales tóxicos— no es suficiente, pues esos productos aún perjudican el ambiente. Para ir de productos menos dañinos a productos de veras adecuados al ambiente, McDonough y Braungart introdujeron un método de DPA que se centra en tres áreas clave de diseño de producto:

- ***Química de materiales:*** ¿Qué sustancias químicas abarcan los materiales especificados? ¿Son seguras para los seres humanos y el ambiente?
- ***Desensamblado:*** ¿Pueden separarse los productos al final de su vida útil para reciclar sus materiales?
- ***Reciclabilidad:*** ¿Tienen los materiales contenido reciclable? ¿Se separan con facilidad en categorías de reciclado? ¿Son reciclables los materiales al final de la vida útil del producto?

Para poner en práctica el DPA, Herman Miller conformó un grupo de expertos en DPA que trabaja con cada equipo de desarrollo de producto nuevo. Con MBDC crearon una base

de datos de materiales y una herramienta evaluadora del DPA, que da mediciones para guiar las decisiones de diseño en el desarrollo de productos.

Proceso del diseño para el ambiente

La aplicación eficaz del DPA implica actividades durante el proceso de desarrollo de productos. En la figura 12-4 se muestran los pasos del proceso de DPA. Pese a la presentación lineal de los pasos, los equipos de desarrollo de productos podrían repetir algunos varias veces, lo que hace del DPA un proceso iterativo. Las siguientes secciones describen cada paso del proceso de DPA.

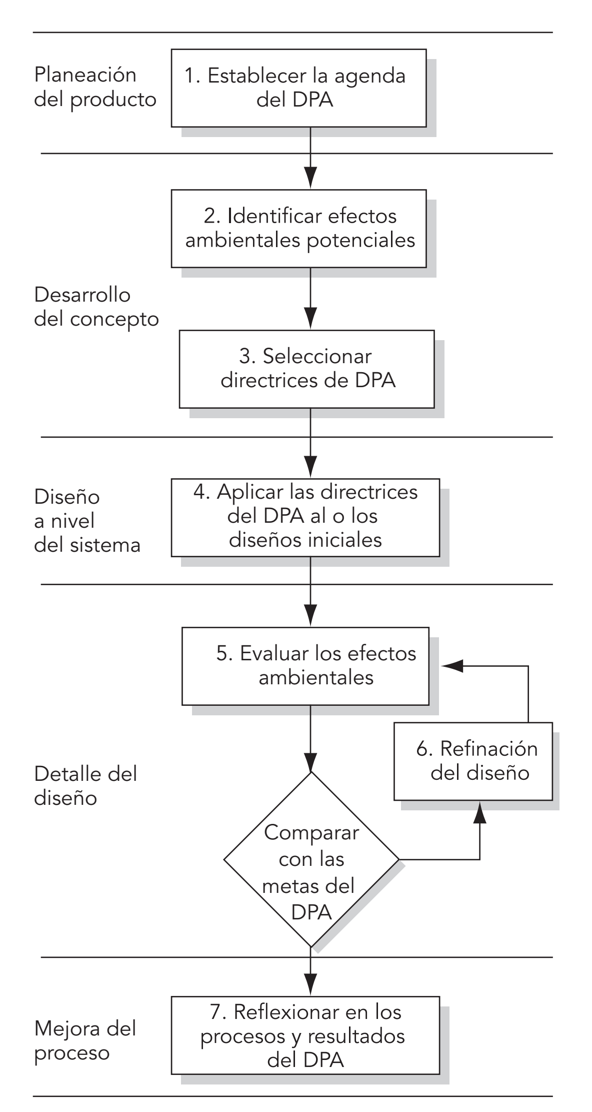


FIGURA 12-4 El proceso del DPA implica actividades en el proceso de desarrollo de productos.

Paso 1: Establecer la agenda del DPA: impulsores, metas y equipo

El proceso del DPA comienza desde la fase de planeación del producto con el establecimiento de la agenda del DPA. Este paso consiste en tres actividades: identificar los impulsores internos y externos del DPA, fijar las metas ambientales para el producto y formar el equipo del DPA. Al establecer la agenda del DPA, la organización identifica una trayectoria clara y factible hacia el diseño de productos ambientalmente adecuados.

Identificar los impulsores internos y externos del DPA

La fase de planeación del DPA empieza con un análisis de las razones por las que la organización desea abordar el desempeño ambiental de sus productos. Es útil documentar los impulsores tanto internos como externos del DPA. Esta lista puede evolucionar con el tiempo, conforme los cambios de tecnología, regulaciones, experiencia, interesados y competencia afecten la capacidad y retos de la empresa.

Los impulsores internos son los objetivos del DPA dentro de la organización. Los impulsores internos habituales del DPA son (adaptado de Brezet y Van Hemel, 1997):

- ***Calidad del producto:*** La atención en el desempeño ambiental puede aumentar la calidad del producto en términos de funcionalidad, confiabilidad de operación, durabilidad y facilidad de reparación.
- ***Imagen pública:*** Comunicar un alto nivel de calidad ambiental de un producto mejora la imagen de una empresa.

- ***Reducción de costos:*** Usar menos materiales y energía en la producción permite considerables ahorros en los costos. Generar menos desechos y eliminar residuos peligrosos da como resultado menos costos de retiro de desechos.
- ***Innovación:*** El pensamiento sustentable da lugar a cambios radicales en el diseño de productos y puede fomentar la innovación en toda la empresa.
- ***Seguridad de operación:*** Al eliminar materiales tóxicos, muchos cambios del DPA ayudan a mejorar la salud y seguridad laboral de los empleados.
- ***Motivación de los empleados:*** Los empleados se ven motivados a contribuir en formas nuevas y creativas si son capaces de ayudar a reducir los efectos ambientales de los productos y las operaciones de la empresa.
- ***Responsabilidad ética:*** El interés en el desarrollo sustentable entre gerentes y desarrolladores de productos puede estar motivado, en parte, por un sentido de responsabilidad moral en la conservación del ambiente y la naturaleza.
- ***Conducta del consumidor:*** Una mayor disponibilidad de productos con beneficios ambientales puede acelerar la transición a estilos de vida más limpios y la demanda de productos más adecuados al ambiente.

En general, los impulsores externos del DPA son las regulaciones ambientales, preferencias de los consumidores y ofertas de los competidores. A saber (de Brezet y Van Hemel, 1997):

- ***Legislación ambiental:*** Las políticas ambientales orientadas a los productos se desarrollan con rapidez. Las empresas no sólo deben entender la miríada de regulaciones en las diversas regiones donde operan y venden productos, sino también ser capaces de anticipar leyes nuevas. La relevancia de legislaciones recientes se desplaza de la prohibición de ciertos materiales a una responsabilidad más amplia de los productores, incluso con la restitución de sus obligaciones.
- ***Demanda comercial:*** Hoy en día, las empresas operan en un ambiente comercial de clientes industriales cada vez más informados y usuarios finales que pueden demandar productos sustentables. La publicidad negativa, ciberbitácoras y boicoteos de productos, fabricantes o minoristas tienen una secuela considerable en las ventas. Desde luego, el efecto positivo opuesto es asimismo adquirir más fuerza.
- ***Competencia:*** Las actividades de sustentabilidad de los competidores presionan por un mayor énfasis en el DPA. Fijar un estándar ambiental alto puede crear una ventaja de quien avanza primero.
- ***Organizaciones comerciales:*** Las organizaciones comerciales o industriales en algunas ramas de la industria —como empaquetado y fabricación de automóviles— motivan a las empresas a realizar acciones ambientales al compartir tecnología y establecer códigos de conducta.
- ***Proveedores:*** Los proveedores influyen en el comportamiento de la empresa al introducir materiales y procesos más sustentables. Las empresas pueden decidirse por auditar y confirmar declaraciones ambientales de sus proveedores.
- ***Presiones sociales:*** Mediante sus contactos sociales y con la comunidad se puede cuestionar a gerentes y empleados sobre la responsabilidad de sus negocios con el ambiente.

Los impulsores clave del DPA de la silla Setu fueron la demanda comercial, la innovación y el compromiso de Herman Miller con la responsabilidad ambiental. Studio 7.5 y Herman Miller desarrollaron los primeros conceptos de la Setu con estos impulsores en mente.

Fijar las metas del DPA

Una actividad importante en la fase de planeación del producto es fijar las metas ambientales para cada proyecto de desarrollo de producto. Muchas organizaciones establecen una estrategia que incluye metas ambientales de largo plazo. Estas metas definen cómo la organización cumple con las regulaciones ambientales y cómo reduce las resultas ambientales de sus productos, servicios y operaciones.

En 2005, Herman Miller fijó sus metas ambientales de largo plazo para el año 2020:

- Cero tiraderos a cielo abierto.
- Nula generación de desechos peligrosos.
- Ausencia de emisiones aéreas dañinas.
- Ningún uso de agua en procesos.
- Empleo de energía eléctrica por completo verde.
- Todos los edificios con certificación para cumplir con estándares de eficiencia ambiental.
- Todas las ventas de productos creados con el proceso de DPA.

Para alcanzar estas metas de largo plazo pueden establecerse metas ambientales específicas por cada producto durante la fase de planeación. Estas metas individuales también permiten a la organización avanzar hacia la estrategia de largo plazo. La figura 12-5 enlista ejem-

Etapa del ciclo de vida	Ejemplo de metas de diseño para el ambiente
Materiales	• Reducir el uso de materias primas. • Elegir materias primas abundantes y renovables. • Eliminar materiales tóxicos. • Aumentar la eficiencia de energía en los procesos de extracción de materiales. • Disminuir desechos y desperdicios. • Incrementar el uso de materiales recuperados y reciclados.
Producción	• Aminorar el empleo de materiales procesados. • Especificar materiales procesados que se recuperen y reciclen por completo. • Descartar materiales procesados tóxicos. • Seleccionar procesos con alta eficiencia de energía. • Reducir sobrantes y desechos de la producción.
Distribución	• Planear las entregas con la mayor eficiencia posible de energía. • Mitigar emisiones del transporte. • Prescindir de materiales de empaque tóxicos y peligrosos. • Excluir o reutilizar los empaques.
Uso	• Extender la vida útil de los productos. • Promover el uso de productos en las condiciones deseadas. • Permitir operaciones de servicio limpias y eficientes. • Descartar emisiones y reducir el consumo de energía durante el uso.
Recuperación	• Facilitar el desacoplamiento de los productos para separar materiales. • Habilitar la recuperación y remanufactura de componentes. • Facilitar el reciclado de materiales. • Reducir el volumen de desperdicio para incineración y tiraderos a cielo abierto.

FIGURA 12-5 Ejemplo de metas de DPA, de acuerdo con las etapas del ciclo de vida del producto. Adaptado de Giudice *et al*. (2006).

plos de metas de DPA según el ciclo de vida del producto. A partir del conocimiento de las etapas del ciclo de vida que contribuyen de modo significativo a las secuelas ambientales es posible elaborar las metas de manera correspondiente.

Herman Miller entiende que los principales efectos ambientales de sus productos de mobiliario de oficina están en las etapas de materiales, producción y recuperación. Para la silla Setu, Herman Miller pretendió usar exclusivamente materiales con repercusiones ambientales bajas, facilitar el desensamble del producto y permitir el reciclado.

Conformar el equipo de DPA

El DPA requiere la participación de muchos expertos funcionales sobre el proyecto de desarrollo del producto. La composición habitual de un equipo de DPA (a menudo un grupo dentro del equipo del proyecto general) consiste en un líder de DPA, un químico ambiental y experto en materiales, un ingeniero de manufactura y un representante de compras y de la cadena de suministro de la organización. Desde luego, la composición del equipo de DPA depende de la organización y las necesidades del proyecto específico; también puede incluir mercadólogos, consultores externos, proveedores u otros expertos.

Herman Miller creó su equipo de DPA en 1999 para trabajar con los diseñadores e ingenieros de todo proyecto de desarrollo de producto en la revisión de la química de materiales, desensamble, reciclamiento, empaque de entrada y de salida, fuentes y usos de energía, y generación de desechos. El equipo de DPA participa lo más pronto posible para garantizar que se tomen en cuenta consideraciones de DPA desde el principio. Al trabajar de manera estrecha con cada equipo de desarrollo de producto, el equipo de DPA proporciona las herramientas y conocimientos para tomar decisiones de diseño ambientalmente sólidas.

Paso 2: Identificar efectos ambientales potenciales

Durante la fase de desarrollo del concepto, el DPA comienza por identificar los posibles efectos ambientales del producto en su ciclo de vida. Esto permite al equipo de desarrollo de producto considerar las secuelas ambientales en la etapa de concepto, aunque aún se disponga de pocos o ningún dato específico (respecto de materiales y uso de energía, emisiones y generación de desechos) del producto real, ni sea posible todavía evaluar con detalle las resultas ambientales. Sin embargo, en el caso de un rediseño de producto, los datos pertinentes pueden provenir del análisis de los efectos de productos existentes. (Vea los métodos de evaluación del ciclo de vida en el paso 5, más adelante.)

En la figura 12-6 se muestra una gráfica para evaluar de manera cualitativa las secuelas ambientales durante el ciclo de vida del producto. La gráfica es una adaptación de la Rueda LiDS (Brezet y Van Hemel, 1997) y la Red de EcoDiseño (Bhamra y Lofthouse, 2007). Para crear esta gráfica, el equipo pregunta: "¿Cuáles son las fuentes significativas de un posible efecto ambiental en cada etapa del ciclo de vida?". En la figura 12-7 se presentan preguntas específicas por cada etapa que pueden ser útiles para efectuar análisis cualitativos.

El equipo enlista, por cada etapa del ciclo de vida, las principales repercusiones ambientales anticipadas. La altura de cada barra de la gráfica representa el juicio del equipo sobre la magnitud general de las probables consecuencias ambientales y, por ende, dónde centrar sus esfuerzos de DPA. Para algunos productos (como automóviles o aparatos electrónicos), los efectos más significativos se ubican en la etapa de uso. Para otros productos (digamos ropa o mobiliario de oficina) los mayores efectos pueden encontrarse en las etapas de materiales, producción y re-

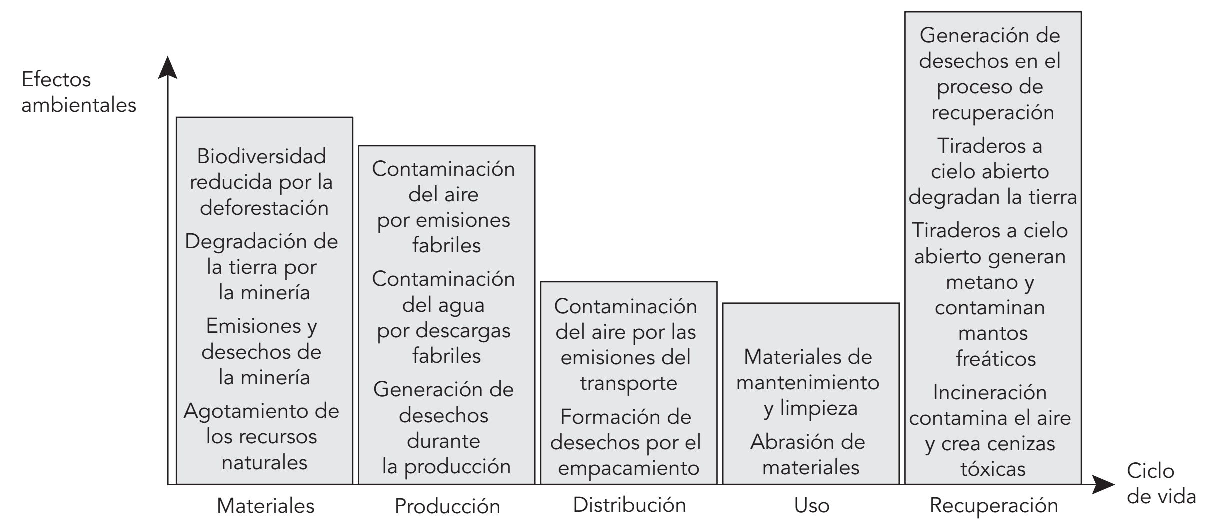


FIGURA 12-6 La evaluación cualitativa del ciclo de vida representa el cálculo del equipo de los tipos y probables magnitudes de los efectos ambientales del producto durante su ciclo de vida. Esta gráfica describe los tipos de secuelas más relevantes de los productos de mobiliario de oficina, como la silla Setu.

Etapa del ciclo de vida	Preguntas
Materiales	• ¿Cuántos y qué tipo de materiales reciclables se usarán? • ¿Cuántos y qué tipo de materiales no reciclables se usarán? • ¿Cuántos y qué tipo de aditivos se usarán? • ¿Cuál es el perfil ambiental de los materiales? • ¿Cuánta energía se requerirá para extraer los materiales? • ¿Con qué medios de transporte se obtendrán?
Producción	• ¿Cuántos y qué tipo de procesos de producción se usarán? • ¿Cuántos y qué tipo de materiales auxiliares se necesitan? • ¿A cuánto ascenderá el consumo de energía? • ¿Cuánto desecho se generará? • ¿Los desechos de producción son separables para su reciclado?
Distribución	• ¿Qué clase de empaque de transporte, al mayoreo y al menudeo se usará (volumen, peso, materiales, reutilización)? • ¿Qué medios de transporte se usarán?
Uso	• ¿Cuánta energía, y de qué tipo, se requerirá? • ¿Cuántos consumibles, y de qué tipo, se necesitarán? • ¿Cuánto durará la vida técnica? • ¿Cuánto mantenimiento y reparaciones se necesitarán? • ¿Cuáles y qué tipo de materiales auxiliares y energía se requerirán? • ¿Cuánto durará la vida estética del producto?
Recuperación	• ¿Cómo se reutiliza el producto? • ¿Se reutilizarán los componentes o materiales? • ¿El producto se desensambla rápido con herramientas comunes? • ¿Qué materiales serán reciclables? • ¿Se reconocerán los materiales reciclables? • ¿Cómo se desechará el producto?

FIGURA 12-7 Preguntas habituales para considerar los efectos ambientales de cada etapa del ciclo de vida. Adaptado de Brezet y Van Hemel (1997).

cuperación. La figura 12-6 muestra la evaluación cualitativa del ciclo de vida del mobiliario de oficina en general. Estos datos guiaron al DPA en el proyecto de la silla Setu.

Paso 3: Seleccionar directrices para el DPA

Las directrices ayudan a los equipos de diseño a tomar decisiones tempranas de DPA sin el tipo de análisis detallado de efectos ambientales que sólo es posible después de especificar más el diseño. Las directrices pertinentes pueden seleccionarse, en parte, basándose en la evaluación cualitativa de las resultas del ciclo de vida (del paso 2). Seleccionar directrices pertinentes durante la fase de desarrollo del concepto permite al equipo de desarrollo del producto aplicarlas en todo el proyecto de desarrollo del producto.

La figura 12-8 muestra una compilación de directrices de DPA basadas en un estudio de Telenko *et al.* (2008). Cada etapa del ciclo de vida tiene sus directrices de DPA que proporcio-

Etapa del ciclo de vida	**Directrices de diseño para el ambiente**	
Materiales	Sustentabilidad de recursos	• Especificar recursos renovables y abundantes.* • Detallar materiales reciclables y/o reciclados.* • Definir formas de energía renovable.*
	Insumos y salidas saludables	• Pormenorizar materiales no peligrosos. • Instalar protección contra la liberación de contaminantes y sustancias peligrosas. • Incluir etiquetas e instrucciones para el manejo seguro de materiales tóxicos.*
Producción	Uso mínimo de recursos en la producción	• Emplear la menor cantidad posible de pasos de manufactura.* • Definir materiales que no requieran tratamientos superficiales o cubiertas.* • Reducir al mínimo la cantidad de componentes.* • Especificar materiales y componentes ligeros.*
Distribución	Empleo mínimo de recursos en la distribución	• Reducir al mínimo el empaque. • Usar materiales de empaque reciclables y/o reutilizables. • Doblar, introducir piezas dentro de otras o desensamblar para distribuir productos en forma compacta. • Aplicar técnicas y materiales estructurales para reducir al mínimo el volumen total de material.
Uso	Eficiencia de recursos durante el uso	• Instalar interrupciones de energía por omisión para subsistemas que no estén en uso. • Utilizar mecanismos de realimentación para indicar cuánta energía o agua se consume. • Establecer controles intuitivos para funciones de ahorro de recursos.
	Durabilidad adecuada	• Considerar estética y funcionalidad para garantizar que la vida estética sea igual a la vida técnica. • Facilitar la reparación y la actualización. • Garantizar un mantenimiento mínimo. • Reducir al mínimo las modalidades de fallas.
Recuperación	Desensamblaje, separación y purificación	• Asegurar que las partes articuladas y atornilladas sean fácilmente accesibles.* • Especificar partes articuladas y atornilladas de modo que sean separables a mano o con herramientas comunes.* • Garantizar que los materiales incompatibles se separen con facilidad.

FIGURA 12-8 Diseño de directrices ambientales ordenadas de acuerdo con la etapa del ciclo de vida de un producto. Con base en Telenko *et al*. (2008). Las directrices del proyecto Setu se identifican con un asterisco.

nan a los equipos de desarrollo del producto instrucciones para reducir los efectos ambientales de un producto. En el apéndice de este capítulo se presenta una lista más detallada de directrices de DPA. Muchas directrices se relacionan con la selección de materiales. Esto subraya el papel central de los materiales en el DPA.

Para el proyecto Setu, los expertos en DPA dieron al equipo de desarrollo del producto varias directrices. Estas guías se identifican con un asterisco en la figura 12-8.

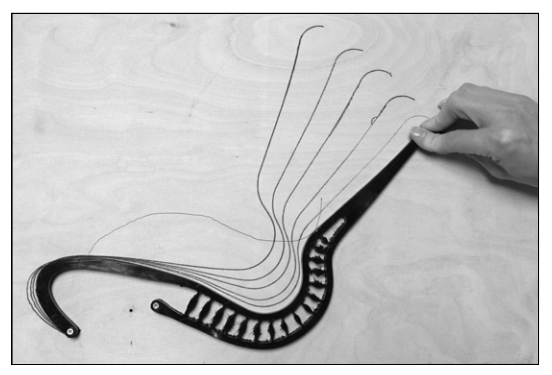
Paso 4: Aplicar las directrices de DPA al diseño inicial del producto

Conforme se desarrolla la arquitectura del producto en la fase de diseño a nivel del sistema (véase el capítulo 10, Arquitectura del producto), se eligen algunos materiales iniciales al tiempo que se toman ciertas decisiones de diseño modular. Por lo tanto, es útil aplicar en este punto las directrices de DPA pertinentes (seleccionadas en el paso 3). De esta forma, el diseño inicial del producto puede tener menos secuelas ambientales.

El equipo Setu quería que la silla fuese ligera para reducir el uso de materiales y los efectos de transporte (aplicación de la directriz de DPA: Especificar materiales y componentes ligeros). Lo lograron al desarrollar un concepto y arquitectura de producto que evitase un mecanismo de inclinación debajo del asiento y otras complejidades. Esto contribuyó a reducir el peso de la silla hasta en nueve kilogramos. El equipo Setu también buscó nuevas formas que facilitaran el desensamble de la Setu a fin de mejorar el reciclado. Colocaron cada parte articulada donde fuese fácilmente accesible y se aseguraron de que los componentes de la Setu fuesen separables a mano o con herramientas comunes (aplicación de directrices de DPA: Asegurar que las partes articuladas y atornilladas sean fácilmente accesibles. Especificar partes articuladas y atornilladas de modo que sean separables a mano o con herramientas comunes).

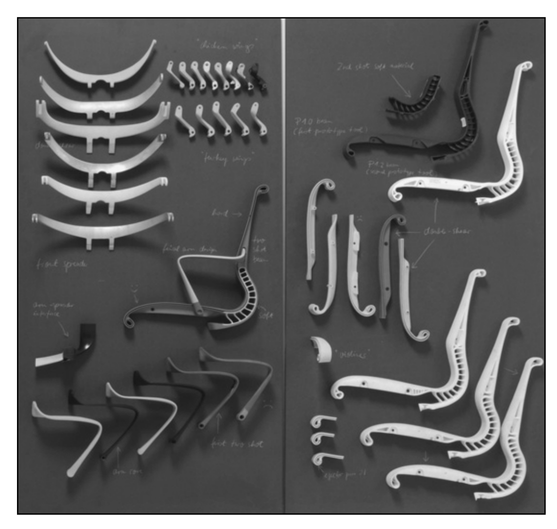
En la fase de diseño de detalles se determinan las especificaciones de materiales, la geometría detallada y los procesos de manufactura exactos. La aplicación de las directrices de DPA en diseño detallado es en esencia la misma que en el diseño a nivel del sistema; sin embargo, en este punto se toman muchas decisiones más y se consideran factores ambientales con mayor precisión. Al especificar materiales de efecto reducido y minimizar el consumo de energía, los equipos de desarrollo de producto crean productos más adecuados al ambiente. Además, las directrices de DPA pueden inspirar a los equipos de desarrollo de productos para que mejoren la funcionalidad y durabilidad del producto, lo que puede permitir efectos ambientales mucho menores.

La geometría de la columna de la Setu, que se ve en la figura 12-9, se inspiró en la columna vertebral humana. Los diseñadores de Studio 7.5 hicieron prototipos con muchas iteraciones de la espina dorsal a fin de lograr un apoyo y reclinación adecuados (vea la figura 12-10). Una vez definida la forma de la columna vertebral, el equipo tuvo que encontrar materiales que se ajustaran a los requerimientos tanto funcionales como ambientales.



Cortesía de Studio 7.5 y Herman Miller, Inc.

FIGURA 12-9 La columna de la Setu se inspiró en la espina dorsal humana.



Cortesía de Studio 7.5 y Herman Miller, Inc.

FIGURA 12-10 El equipo de diseño hizo prototipos con muchas variaciones de la columna de la Setu y componentes relacionados.

Para especificar materiales que se ajustaran a los requerimientos ambientales y funcionales, el equipo de desarrollo usó la base de datos de materiales propiedad de Herman Miller. Esta base de datos, mantenida junto con MBDC, considera la seguridad y repercusiones ambientales de cada material y las clasifica en una de cuatro categorías: verde (poco o ningún peligro), amarillo (peligro bajo a moderado), naranja (datos incompletos) y rojo (peligro elevado). El propósito de Herman Miller era usar sólo materiales clasificados como amarillo o verde en todos los productos nuevos.

Por ejemplo, el cloruro de polivinilo (PVC) se clasifica como material rojo. El PVC es un polímero común en mobiliario y otros productos debido a su bajo costo y alta resistencia. Sin embargo, tanto la producción como la incineración del PVC liberan emisiones tóxicas. A fin de evitar materiales tóxicos para los seres humanos y el ambiente (aplicación de la guía de DPA: Pormenorizar materiales no peligrosos), los ingenieros especificaron materiales más seguros, como el polipropileno, y evitaron por completo el PVC.

Paso 5: Evaluar los efectos ambientales

El siguiente paso es evaluar, en lo posible, los efectos ambientales del producto durante todo su ciclo de vida. Hacer esto con precisión requiere una comprensión detallada de la forma como el producto se fabrica, se distribuye, se usa durante su vida y se recicla o desecha al final de su vida útil. Esta evaluación suele efectuarse con base en la lista de materiales (LDM) detallada que abarca fuentes de energía, especificaciones de materiales componentes, proveedores, modalidades de transporte, flujos de desecho, métodos de reciclado y medios de desecho. Se dispone de varias herramientas cuantitativas de evaluación del ciclo de vida (ECV) para dicha evaluación ambiental. El precio y la complejidad de estas herramientas varían, y se seleccionarían con base en los tipos de materiales y procesos implicados, y en la exactitud que requiera el análisis.

La ECV necesita una cantidad considerable de tiempo, capacitación y datos. Muchos análisis de ECV son comparativos y dan una base para considerar el desempeño ambiental de las opciones de diseño del producto. La utilización del software comercial de ECV se ha ampliado mucho en el diseño de productos, y se dispone de datos de apoyo de materiales comunes, procesos de producción, métodos de transporte, procesos de generación de energía y tiraderos de desechos.

Herman Miller emplea su propia herramienta de evaluación de DPA, elaborada para ellos por MBDC. La herramienta de DPA consiste en una hoja de datos como acceso y la base de datos de los materiales, con el código de colores ya descrito. La herramienta considera cuatro factores por cada componente del producto:

1. ***Química de materiales:*** Fracción de los materiales por peso lo más segura posible en términos de toxicidad para los seres humanos y aspectos ambientales.

2. ***Contenido reciclado:*** Fracción de los materiales por peso que constituye contenido postindustrial o posterior al consumidor.
3. ***Desensamblaje:*** Fracción de los materiales por peso que se desensambla con facilidad.
4. ***Reciclabilidad:*** Fracción de los materiales por peso reciclable.

Una vez establecido el diseño inicial de la Setu, la silla se dividió en dos módulos y a cada uno se le asignó un equipo para su desarrollo. Conforme cada equipo diseñó su módulo, el equipo de DPA evaluó el diseño con la herramienta de DPA.

Comparar los efectos ambientales con las metas del DPA

Este paso compara los efectos ambientales del diseño en curso con las metas del DPA establecidas en la fase de planeación. Si se crearon varias opciones de diseño en la fase de diseño detallado, ahora pueden compararse para juzgar cuál tiene las menores secuelas ambientales. A menos que el equipo de desarrollo de producto tenga mucha experiencia en DPA, por lo general el diseño tendrá mucho espacio para mejorar. Por lo común se requieren varias iteraciones de DPA antes de que el equipo esté satisfecho y el producto sea tan bueno como debe ser desde una perspectiva de DPA.

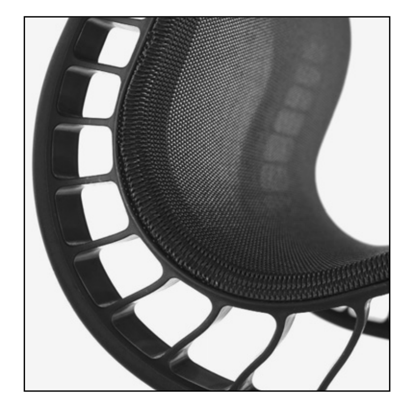


Paso 6: Refinar el diseño del producto para reducir o eliminar los efectos ambientales

El objetivo de este paso y posteriores iteraciones de DPA es reducir o eliminar todo efecto ambiental significativo mediante el rediseño. El proceso se repite hasta que las secuelas ambientales se hayan reducido a un nivel aceptable y el desempeño ambiental se ajuste a las metas del DPA. El rediseño para la mejora continua del DPA también puede proseguir después de comenzar la producción. Para las sillas Aeron y Mirra (vea la figura 12-1), Herman Miller hizo varios cambios a las especificaciones y fuentes de materiales desde el lanzamiento inicial de estos productos, para reducir sus consecuencias ambientales.

Tras varias iteraciones de diseño, el equipo de la Setu desarrolló una manera de fabricar la columna con dos materiales de polipropileno compatibles para el reciclado sin separación. Los rieles interno y externo de la columna constan de un compuesto de polipropileno y cristal, mientras que los rayos conectores se moldean con un compuesto más flexible de polipropileno y hule (vea la figura 12-11). La base de aluminio de la Setu es un ejemplo de "diseño mínimo". Sin cubierta, sin pulido, sin labor de acabado ni toxinas dañinas es durable y tiene menos resultas ambientales que las bases de sillas con un acabado tradicional.

Una compensación difícil abordada en el desarrollo de la Setu se relacionó con la selección de materiales para los brazos de la silla. Si bien se determinaron para evitar el PVC, el equipo no logró fabricar los brazos sólo con materiales olefínicos (como el polipropileno) debido a preocupaciones de durabilidad y fallas por fatiga. Por lo tanto, los brazos de la Setu se fabricaron con nailon y se terminaron de moldear con un elastómero termoplástico. Como estos materiales no son químicamente compatibles para el reciclado, esta decisión limitó la reciclabilidad general de la silla.





Cortesía de Herman Miller, Inc.

FIGURA 12-11 Diseño final de la columna de la Setu (arriba) y la base de aluminio (abajo).

Factor de evaluación de DPA	Puntuación de la SETU	Factor de ponderación	Puntuación ponderada
Química de materiales	50%	33.3%	16.7%
Contenido reciclado	44%	8.4%	3.7%
Desensamblaje	86%	33.3%	28.6%
Reciclabilidad	92%	25.0%	23.0%
Puntuación general		**100%**	**72%**

FIGURA 12-12 La herramienta de evaluación para el DPA de Herman Miller considera cuatro factores y calcula la puntuación general ponderada de 72% para la silla Setu.

Paso 7: Reflexionar sobre el proceso y resultados del DPA

Igual que en todo aspecto del proceso de desarrollo de productos, la actividad final es preguntar:

- ¿Fue adecuada la ejecución del proceso de DPA?
- ¿Cómo se puede mejorar nuestro proceso de DPA?
- ¿Qué mejoras de DPA se pueden aplicar a productos derivados y futuros?

Con base en la herramienta del DPA de Herman Miller, en una escala de 0 a 100 por ciento, con 100 por ciento como producto de verdad reciclable por completo, la silla Setu alcanzó una puntuación de 72 por ciento, como se ve en la figura 12-12.

El equipo de la Setu estaba satisfecho con la silla en términos de facilidad de desensamblaje y factibilidad de reciclado. Durante el desarrollo de la Setu, la puntuación de reciclabilidad de la silla subió y bajó, y al final cayó de 99 a 92 por ciento debido a la compensación en la selección de materiales al diseñar los brazos. Un logro muy importante en el desarrollo de la Setu para permitir su reciclabilidad fue un cambio en los materiales de la columna. Las primeras iteraciones unieron materiales incompatibles que no podían reciclarse. El equipo de DPA desafió al equipo de la Setu a que innovara más. La solución fue utilizar dos materiales compatibles para reciclarse sin separación. Por desgracia, este remedio no pudo aplicarse a los brazos de la Setu y allí se unieron materiales incompatibles.

Si bien tuvo mucho éxito en términos de aplicación del DPA, la silla Setu aún tuvo algunos efectos ambientales negativos, en particular en términos de química de materiales y uso de contenido reciclado, como se ve en la figura 12-12. Esto refleja la realidad de que crear un producto perfecto desde una perspectiva de DPA es una meta que puede tardar años. Un DPA eficaz requiere un equipo de desarrollo de producto que se esfuerce en la mejora continua. El equipo de DPA tal vez sea capaz de desarrollar más la silla Setu para reducir algunas secuelas conocidas. Por ejemplo, es probable que fabricar los brazos de la Setu sólo con polipropileno habría mejorado la reciclabilidad y reducido los costos, pero también habría requerido resolver varios problemas técnicos muy complejos.

Para mejorar más su proceso de DPA, Herman Miller comenzó a usar el software de ECV para supervisar sus resultados de DPA y guiar un posterior refinamiento de sus productos. Después planeó integrar una “huella de carbono” a su herramienta de DPA. La huella de carbono de un producto es la cantidad de emisiones de gases tipo invernadero que genera, de ordinario expresada en términos de la masa equivalente de CO_2 emitido. La consideración de la

huella de carbono afectaría más las elecciones de materiales de Herman Miller. Por ejemplo, con base sólo en la reciclabilidad y la toxicidad ambiental, el aluminio es un material adecuado al ambiente. Sin embargo, al considerar la huella de carbono del aluminio, quizá sea una elección menos favorable (en comparación con el acero, por ejemplo) debido a la cantidad de energía requerida para producir aluminio nuevo. No obstante, el aluminio reciclado consume mucho menos energía, por lo que este análisis depende asimismo de las fuentes de los materiales y de la energía para procesar los metales.

Resumen

Todo producto tiene efectos ambientales en su ciclo de vida. El diseño para el ambiente (DPA) ofrece a las empresas un método práctico de reducir al mínimo o eliminar las secuelas ambientales.

- Un DPA eficaz mantiene o mejora la calidad y el costo del producto al tiempo que aminora las resultas ambientales.
- El DPA expande la atención tradicional del fabricante para considerar el ciclo de vida del producto en su totalidad y su relación con el ambiente. Comienza con la extracción y procesamiento de materias primas a partir de recursos naturales, seguido de la producción, distribución y uso del producto. Por último, al final de la vida útil del producto hay varias opciones de recuperación: remanufacturar o reutilizar componentes, reciclar materiales. incinerarlos o desecharlos en el tiradero a cielo abierto para reintegrar el producto a un ciclo de bucle cerrado.
- El DPA puede implicar actividades a lo largo del proceso de desarrollo del producto y requiere un enfoque interdisciplinario. Diseño industrial, ingeniería, compras y mercadotecnia trabajan juntos en el desarrollo de productos adecuados al ambiente.
- El proceso de DPA consiste en siete pasos. Es probable que los equipos de desarrollo de productos repitan algunos pasos varias veces.

  1. Establecer la agenda del DPA: impulsores, metas y equipo.
  2. Identificar los potenciales efectos ambientales.
  3. Seleccionar las directrices del DPA.
  4. Aplicar las directrices del DPA al diseño inicial del producto.
  5. Evaluar los efectos ambientales.
  6. Refinar el diseño del producto para reducir o eliminar las secuelas ambientales.
  8. Reflexionar sobre el proceso y los resultados del DPA.

Referencias y bibliografía

Existen numerosos recursos actuales en internet **www.ulrich-eppinger.net**

Varios textos cubren el tema del DPA. Bhamra y Lofthouse ofrecen una introducción al diseño con sustentabilidad y una descripción de varias herramientas estratégicas para el DPA, como EcoDisegn Web. El libro de Fiksel es una guía muy completa del DPA como enfoque del ciclo de vida para productos nuevos y desarrollo de procesos. Lewis *et al.*, proporcionan una panorámica y una descripción de los efectos ambientales, así como de varias herramientas de evaluación ambiental.

Bhamra, T. y V. Lofthouse, *Design for Sustainability: A Practical Approach,* Gower, UK, 2007.

Fiksel, J. R., *Design for Environment: A Guide to Sustainable Product Development,* segunda edición, McGraw-Hill, Nueva York, 2009.

Lewis, H., J. Gertsakis y T. Grant, *Design and Environment: A Global Guide to Designing Greener Goods,* Greenleaf Publishing Limited, Sheffield, UK, 2001.

Varios autores argumentan de manera convincente en favor de la consideración de los efectos ambientales del diseño. Burall concluye que ya no hay conflicto entre un enfoque verde para diseñar y el éxito comercial. McDonough y Braungart explican que el conflicto entre industria y ambiente no es una crítica al comercio, sino una consecuencia de diseños meramente oportunistas. Papanek desafía a los diseñadores a que enfrenten sus responsabilidades sociales y ambentales en lugar de atender sólo sus intereses comerciales. El *Brundtland Report* (1987) definió por primera vez el término *desarrollo sustentable.*

Burall, P., *Green Design,* Design Council, Londres, 1991.

McDonough, W. y M. Braungart, *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things,* North Point Press, Nueva York, 2002.

Papanek, V., *Design for the Real World: Human Ecology and Social Change,* Van Nostrand Reinhold Co., Nueva York, 1971.

World Commission on Environment and Development, *The Brundtland Report: Our Common Future,* Oxford University Press, Londres, 1987.

Algunas partes del método de DPA presentadas en este capítulo provienen de diversas fuentes. Los impulsores internos y externos para el DPA se basan en el trabajo *Ecodesign* de Brezet y Van Hemel. Las metas del DPA son una adaptación de las estrategias ambientales enlistadas por Giudice *et al*. Las directrices del DPA se derivan de la exhaustiva compilación de Telenko *et al.* El énfasis en los materiales del DPA refleja el concepto de reciclabilidad completa que explican McDonough y Braungart.

Brezet, H. y C. van Hemel, *Ecodesign: A Promising Approach to Sustainable Production and Consumption,* TU Delft, Holanda, 1997.

Giudice, F., G. La Rosa y A. Risitano, *Product Design for the Environment: A Life Cycle Approach,* CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Ratón, FL, 2006.

Telenko, C., C. C. Seepersad y M. E. Webber, *A Compilation of Design for Environment Principles and Guidelines,* ASME DETC Design for Manufacturing and the Life Cycle Conference, Nueva York, 2008.

La Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization, ISO) elaboró estándares acordados internacionalmente para la ECV, conocidos como ISO 14040.

International Organization for Standardization, *Environmental Management: Life Cycle Assessment — Principles and Framework,* European Committee for Standardization, Bruselas, 2006.

Ejercicios

1. Enliste al menos 10 tipos de efectos ambientales durante el ciclo de vida de su computadora personal o teléfono celular. Grafíquelos como en la figura 12-6 para representar su juicio sobre el efecto relativo de cada etapa del ciclo de vida.

2. Desensamble un producto sencillo, como un bolígrafo. Sugiera dos maneras de reducir sus secuelas ambientales.

3. Del producto considerado en el ejercicio 1, calcule su puntuación de efecto ambiental con cualquier herramienta de análisis de ECV de que disponga.

Preguntas de análisis

1. ¿Cuáles son algunas maneras en que cobró mayor conciencia de su propio efecto ambiental en años recientes?
2. Respecto de la silla Setu, ¿qué tipos de repercusiones ambientales habría en la etapa de uso de su ciclo de vida?
3. ¿De qué maneras contribuye el DPA a mejorar la calidad de un producto, en términos de su funcionalidad, confiabilidad, durabilidad y reparabilidad?
4. Por cada etapa del ciclo de vida identifique un producto o servicio que tenga efectos ambientales profundos durante la etapa particular del ciclo de vida. Después sugiera un producto o servicio, nuevo o existente, que ofrezca la misma funcionalidad con menos efectos ambientales (o ninguno).
5. ¿Cómo incluiría de manera explícita la energía renovable y no renovable en el diagrama de ciclo de vida de la figura 12-3? Trace un diagrama así y coméntelo.
6. Explique la relación entre DPA y DPM. Considere, por ejemplo, las directrices de DPA relacionadas con la producción en la figura 12-8.
7. Considere la herramienta de evaluación del DPA de Herman Miller (figura 12-12), con la que se calcula la suma ponderada de puntuaciones de química de materiales, uso de contenido reciclado, facilidad de desensamblaje y reciclabilidad. ¿Qué modificaciones propondría para crear una herramienta de evaluación del DPA para un tipo distinto de producto, como un automóvil o un teléfono celular?

Apéndice

Directrices del diseño para el ambiente

Telenko *et al.* (2008), compilaron una extensa lista de directrices de DPA basadas en varias fuentes que cubren diversas industrias. Cada etapa del ciclo de vida tiene sus propias directrices de DPA que ofrecen sugerencias a los equipos de desarrollo de productos para reducir las secuelas ambientales. La lista siguiente se basa en la compilación de Telenko *et al.*

Etapa del ciclo de vida: Materiales

Garantizar la sustentabilidad de recursos

1. Especificar recursos renovables y abundantes.
2. Detallar materiales reciclables o reciclados, en especial al interior de la empresa o para los cuales exista un mercado, o necesite estimularse uno.
3. Revestimiento reciclado y material virgen donde se necesite material virgen.
4. Explotar propiedades únicas de materiales reciclados.
5. Emplear componentes comunes y remanufacturados en todos los modelos.
6. Enumerar materiales y piezas de atornillamiento mutuamente compatibles para el reciclado.
7. Establecer un tipo de material para el producto y sus partes para ensamblar.
8. Determinar materiales no compuestos ni mezclados; tampoco aleaciones.
9. Especificar formas renovables de energía.

Garantizar insumos y salidas saludables

10. Instalar protección contra la liberación de contaminantes y sustancias peligrosas.
11. Especificar sustancias no peligrosas o “limpias” ambientalmente, en especial respecto a la salud del usuario.
12. Garantizar que los desechos tengan una base de agua o sean biodegradables.

13. Identificar la fuente más limpia de energía.
14. Incluir etiquetas e instrucciones para el manejo seguro de materiales tóxicos.
15. Especificar procesos limpios de producción para el producto y en la selección de componentes.
16. Concentrar los elementos tóxicos para su retiro y tratamiento sencillos.

Etapa del ciclo de vida: Producción

Garantizar un uso mínimo de recursos en la producción

17. Aplicar técnicas y materiales estructurales para reducir al mínimo el volumen total de material.
18. Indicar los materiales que no requieran tratamientos superficiales, coberturas o tinturas adicionales.
19. Estructurar el producto para evitar rechazos y reducir al mínimo el desperdicio de material en la producción.
20. Reducir al mínimo la cantidad de componentes.
21. Estipular los materiales con baja intensidad de producción y agricultura.
22. Especificar procesos de producción limpios y de eficiencia elevada.
23. Utilizar la menor cantidad posible de pasos de manufactura.

Etapa de ciclo de vida: Distribución

Garantizar un uso mínimo de recursos en la distribución

24. Sustituir las funciones y solicitudes del empacamiento mediante el diseño del producto.
25. Doblar, introducir piezas dentro de otras o desensamblar para distribuir productos en forma compacta.
26. Determinar materiales y componentes ligeros.

Etapa de ciclo de vida: Uso

Garantizar la eficiencia de recursos durante el uso del producto

27. Incluir provisiones reutilizables para garantizar la utilidad máxima de consumibles.
28. Agregar seguros contra fallas por calor y pérdida de material.
29. Reducir al mínimo el volumen y peso de partes y materiales a los cuales se transfiere la energía.
30. Especificar los componentes de mejor clase y más eficientes en energía.
31. Instalar interrupciones de energía por omisión en subsistemas que no estén en uso.
32. Asegurar calentamiento y apagado rápidos.
33. Maximizar la eficiencia del sistema para una amplia variedad de condiciones de uso.
34. Interconectar flujos de energía y materiales disponibles dentro del producto y entre el producto y su ambiente.
35. Incorporar operación parcial y permitir a los usuarios apagar sistemas en forma parcial o total.
36. Indicar, con mecanismos de realimentación, cuánta energía o agua se consumen.
37. Integrar controles intuitivos para características ahorradoras de recursos.
38. Agregar características que prevengan que el usuario desperdicie materiales.
39. Usar mecanismos por omisión que reconfiguren automáticamente el producto a sus ajustes más eficientes.

Garantizar la durabilidad adecuada del producto y componentes

40. Reutilizar componentes de energía altamente integrados.
41. Planear para incorporar mejoras de eficiencia continuas.
42. Mejorar la estética y funcionalidad para garantizar que la vida estética sea igual a la vida técnica.
43. Garantizar un mantenimiento mínimo y reducir las modalidades de fallas en el producto y sus componentes.
44. Especificar mejores materiales, tratamientos de superficies o acomodos estructurales para proteger los productos de la suciedad, corrosión y desgaste.
45. Indicar en el producto las partes que deben limpiarse y mantenerse de una manera específica.
46. Hacer detectable el desgaste.
47. Permitir una fácil reparación y actualización, en particular de componentes que experimentan cambios rápidos.
48. Requerir pocos servicios y herramientas de inspección.
49. Facilitar la revisión de los componentes.
50. Adimitir desensamblados y ensamblados nuevos y repetitivos.

Etapa de ciclo de vida: Recuperación

Permitir en desensamblado, separación y purificación de materiales y componentes

51. Indicar en el producto cómo debe abrirse y dejar a la vista los puntos de acceso.
52. Garantizar que las junturas y partes atornilladas sean fácilmente accesibles.
53. Mantener la estabilidad y colocación de partes durante el desensamblado.
54. Reducir al mínimo la cantidad y variedad de elementos de juntura.
55. Garantizar que las técnicas destructivas de desensamblado no dañen a la gente o a los componentes reutilizables.
56. Asegurar que las partes reutilizables se limpien con facilidad y sin daño.
57. Garantizar que los materiales incompatibles se separen con facilidad.
58. Hacer que las superficies de contacto entre los componentes sean sencillas y separables inversamente.
59. Organizar un producto o sistema en módulos jerárquicos por estética, reparación y protocolo de término de vida.
60. Instalar plataformas, módulos y componentes reutilizables e intercambiables.
61. Condensar en una cantidad mínima de partes.
62. Entre otros, especificar adhesivos, etiquetas, coberturas de superficies y pigmentos que sean compatibles y que no interfieran con la limpieza.
63. Emplear una dirección de desensamblado sin reorientación.
64. Señalar todas las junturas de modo que sean separables a mano o con unas cuantas herramientas sencillas.
65. Reducir al mínimo la cantidad y extensión de operaciones para el desprendimiento.
66. Marcar materiales en moldes con tipos y protocolos de reutilización.
67. Usar una estructura vacía o abierta que dé un acceso fácil a las partes subensambladas.

CAPÍTULO TRECE

Diseño para manufactura



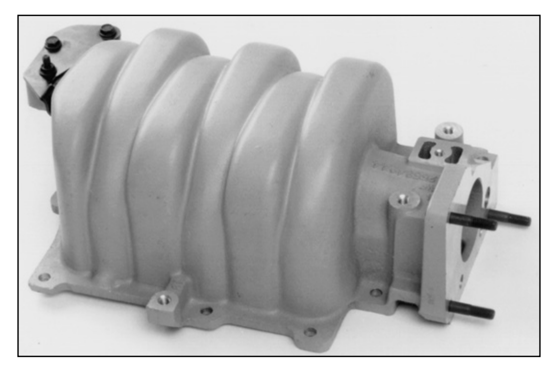
Cortesía de General Motors Corp.

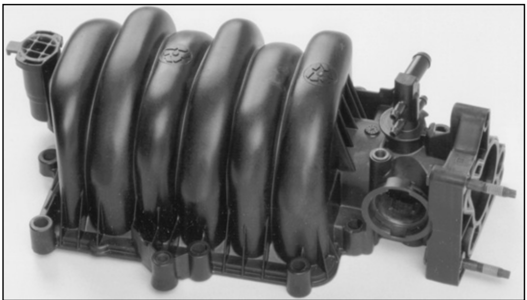
FIGURA 13-1 Motor V6 de 3.8 litros de General Motors.

La división de Powertrain de General Motors fabrica aproximadamente 3 500 motores V6 de 3.8 litros al día (figura 13-1). Para realizar este volumen de producción tan alto, la empresa centró su interés en reducir el costo del motor y al mismo tiempo mejorar su calidad. Se formó un equipo para mejorar uno de los subconjuntos más costosos del motor: el múltiple de admisión de aire. (La función principal del múltiple de admisión es dirigir aire del regulador de admisión de gases a las válvulas de admisión en los cilindros.) El conjunto original del múltiple de admisión y el conjunto rediseñado se ilustran en la figura 13-2. Este capítulo presenta un método de diseño para manufactura que toma como ejemplo el múltiple de admisión V6 de la GM.

Definición de diseño para manufactura

Las necesidades del cliente y las especificaciones de un producto son útiles para guiar la fase del concepto del desarrollo de un producto; sin embargo, durante las últimas actividades de desarrollo es frecuente que los equipos tengan dificultad para enlazar las necesidades y especificaciones para el diseño particular al que se enfrentan. Por esta razón, muchos equipos practican metodologías de "diseño para X" (DPX), donde X puede corresponder a uno de entre docenas de criterios de calidad como son confiabilidad, robustez, facilidad de servicio, efecto ambiental o facilidad de manufactura. La más común de estas metodologías es el *diseño para manufactura* (DPM), que es de importancia universal porque afecta directamente a los costos de manufactura.





Fotos de Stuart Cohen

FIGURA 13-2 Múltiple original de admisión de aire y múltiple rediseñado. El cuerpo del múltiple original (arriba) está hecho de aluminio fundido. El múltiple rediseñado (abajo) está hecho de termoplástico compuesto moldeado.

Este capítulo se refiere principalmente al DPM, pero también está destinado a ilustrar, por ejemplo, estos principios generales, los cuales se aplican a metodologías para lograr cualquiera de las X en el DPX:

- Las decisiones de diseño de detalles pueden tener un efecto considerable en la calidad y costo de un producto.
- Los equipos de desarrollo se enfrentan a objetivos múltiples y a menudo conflictivos.
- Es importante tener métricas con las cuales comparar diseños alternativos.
- Las mejoras importantes requieren con frecuencia de relevantes trabajos creativos en las primeras etapas del proceso.
- Un método bien definido ayuda en el proceso de toma de decisiones.

El costo de manufactura es una clave determinante del éxito económico de un producto. Dicho en pocas palabras, el éxito económico depende del margen de utilidades obtenidas en cada venta del producto y de la forma en que se puedan vender muchas unidades de éste. El margen de utilidades es la diferencia entre el precio de venta

del fabricante y el costo de hacer el producto. El número de unidades vendidas y el precio de venta están en gran medida determinados por la calidad total del producto. Un diseño económicamente exitoso es, en consecuencia, aquel que asegura una alta calidad del producto al mismo tiempo que minimiza el costo de manufactura. El DPM es un método para alcanzar esta meta; una práctica efectiva del DPM lleva a bajos costos de manufactura sin sacrificar calidad del producto. (Vea en el capítulo 17, Economía de desarrollo de un producto, un examen más detallado de modelos que relacionan los costos de manufactura con el éxito económico.)

El DPM requiere un equipo interfuncional

El diseño para manufactura es una de las prácticas más integradoras en el desarrollo de productos. El DPM utiliza información de varios tipos, incluyendo 1) bosquejos, dibujos, especificaciones del producto y alternativas de diseño; 2) una comprensión detallada de procesos de producción y ensamble; y 3) estimaciones de costos de manufactura, volúmenes de producción y programación de aumentos en producción. Por lo tanto, el DPM requiere las contribuciones de la mayoría de los miembros del equipo de desarrollo, tanto como de especialistas externos. Los trabajos del diseño para manufactura (DPM) por lo común se valen de la experiencia de ingenieros de manufacturas, contadores de costos y personal de producción, además de diseñadores de productos. Muchas empresas usan talleres estructurados que trabajan en equipo para facilitar la integración y comparten puntos de vista requeridos por el diseño para manufactura.

El DPM se realiza en todo el proceso de desarrollo

El DPM empieza durante la fase de desarrollo del concepto, cuando las funciones y especificaciones del producto están siendo determinadas. Al seleccionar un concepto de producto, el costo es casi siempre uno de los criterios en los que se basa la decisión, aun cuando las estimaciones de costo en esta fase son altamente subjetivas y aproximadas. Cuando las especificaciones se han determinado, el equipo toma acuerdos entre características deseadas de rendimiento. Por ejemplo, una reducción en peso puede aumentar costos de manufactura. En este punto, el equipo puede tener una lista aproximada de materiales (lista de piezas) con estimaciones de costos. Durante la fase de desarrollo del diseño a nivel del sistema, el equipo toma decisiones sobre cómo descomponer el producto en elementos individuales, basados en gran medida en el costo esperado e implicaciones de complejidad de manufactura. Las estimaciones precisas de costo finalmente se obtienen durante la fase de desarrollo del diseño de detalle, cuando la mayoría de decisiones son motivadas por intereses de manufactura.

Repaso del proceso de diseño para manufactura

Nuestro método del diseño para manufactura se ilustra en la figura 13-3. Consta de cinco pasos más iteración:

1. Estimar los costos de manufactura.
2. Reducir los costos de componentes.
3. Disminuir los costos de ensamble.
4. Reducir los costos de soporte de producción.
5. Considerar el efecto de decisiones del DPM en otros factores.

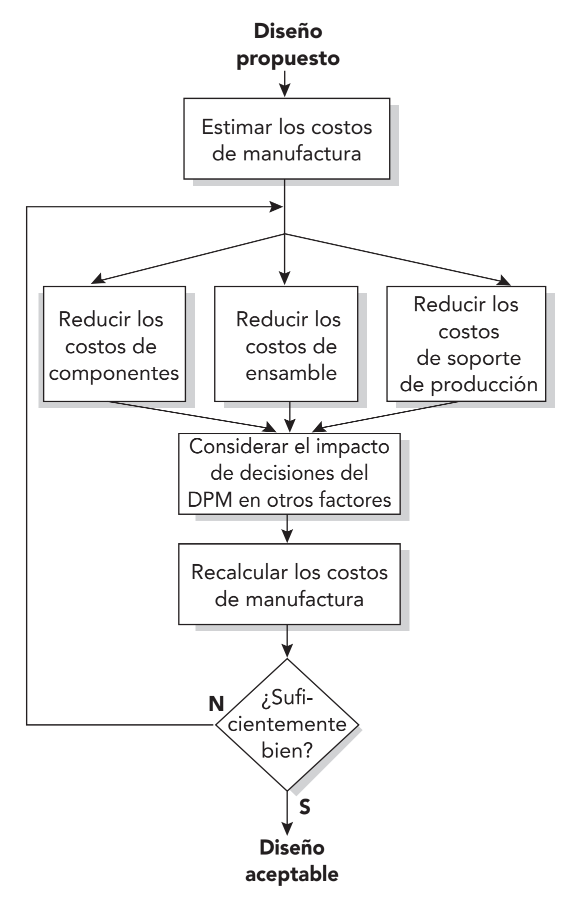


FIGURA 13-3 Método de diseño para manufactura (DPM).

Como se ve en la figura 13-3, el método del diseño para manufactura (DPM) empieza con la estimación del costo de manufactura del diseño propuesto. Esto ayuda al equipo a determinar en un nivel general qué aspectos del diseño, es decir, componentes, ensamble o soporte, son más costosos. El equipo entonces dirige su atención a los aspectos apropiados de los pasos subsiguientes. Este proceso es iterativo. No es raro volver a calcular la estimación del costo de manufactura y mejorar el diseño del producto docenas de veces antes de acordar que es suficientemente bueno. Mientras el diseño del producto esté mejorando, estas iteraciones del DPM pueden continuar incluso hasta que se inicie la producción. En algún punto, el diseño se congela (o "sale a la venta"), y cualesquiera modificaciones posteriores se consideran como "cambios de ingeniería" formales o se convierten en parte de la siguiente generación del producto.

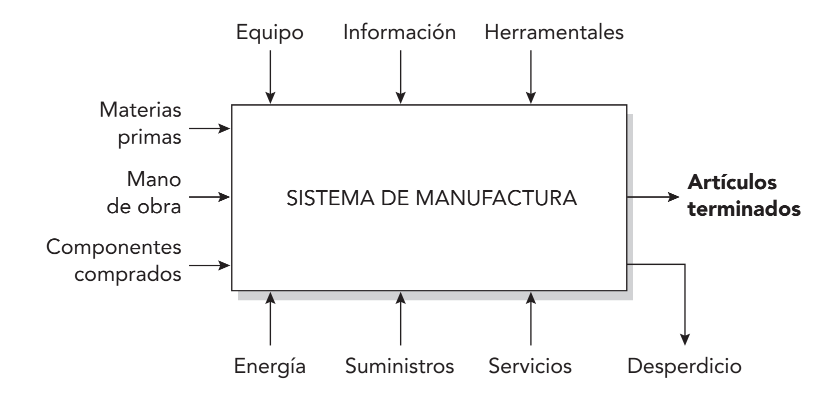
En la sección siguiente, usamos el múltiple de admisión V6 de GM original como ejemplo y explicamos cómo se determinan costos de manufactura. A continuación, reconociendo que las estimaciones precisas de costos son difíciles (si no imposibles) de obtener, presentamos varios métodos útiles para reducir los costos de componentes, ensamble y apoyo a la producción. Empleamos el múltiple de admisión rediseñado y otros productos como ejemplos para ilustrar estos principios del DPM. Por último, analizamos los resultados logrados por medio del DPM y algunas de las implicaciones más generales de las decisiones del diseño para manufactura.

Paso 1: Estimar los costos de manufactura

La figura 13-4 muestra un modelo sencillo de entrada-salida de un sistema de manufactura. Las entradas incluyen materias primas, componentes comprados, trabajo de empleados, energía y equipo. Las salidas comprenden artículos acabados y desperdicio. El costo de manufactura es la suma de todos los gastos para las entradas del sistema más el costo por disponer de los desperdicios producidos por el sistema. Como la métrica del costo para un producto, las empresas generalmente usan *costo unitario de manufactura*, que se calcula al dividir los costos totales de manufactura para algún periodo (por lo general, un trimestre o un año) entre el número de unidades del producto manufacturadas durante ese periodo. Este sencillo concepto es complicado en la práctica por varios problemas:

- ¿Cuáles son los límites del sistema de manufactura? ¿Deben incluirse operaciones del servicio en campo? ¿Qué se puede decir de actividades de desarrollo del producto?
- ¿Cómo "cobramos" al producto el uso de equipo de uso general costoso que dura muchos años?

FIGURA 13-4 Modelo sencillo de entrada-salida de un sistema de manufactura.



- ¿Cómo se asignan costos entre más de una línea de productos en sistemas grandes que manufacturan muchos productos?

Éstos son problemas alrededor de los cuales se construye mucho del campo de contabilidad gerencial y no los tratamos aquí a profundidad. No obstante, estaremos atentos a estas complicaciones cuando examinemos el costo y el DPM en este capítulo.

La figura 13-5 muestra una forma de clasificar los elementos de costo de manufactura. Bajo este esquema, el costo unitario de manufactura de un producto está formado por costos en tres categorías:

1. ***Costo de componentes:*** Los *componentes* de un producto (también llamados partes del producto) pueden incluir *piezas estándar* compradas a proveedores. Ejemplos de componentes estándar incluyen motores, interruptores, chips electrónicos y tornillos. Otros componentes son *piezas personalizadas*, hechas de acuerdo con el diseño del fabricante y a partir de materias primas como lámina de acero, pelotitas de plástico o barras de aluminio. Algunos componentes personalizados se fabrican en la propia planta del fabricante, mientras que otros pueden producirlos los proveedores de acuerdo con las especificaciones de diseño del fabricante.

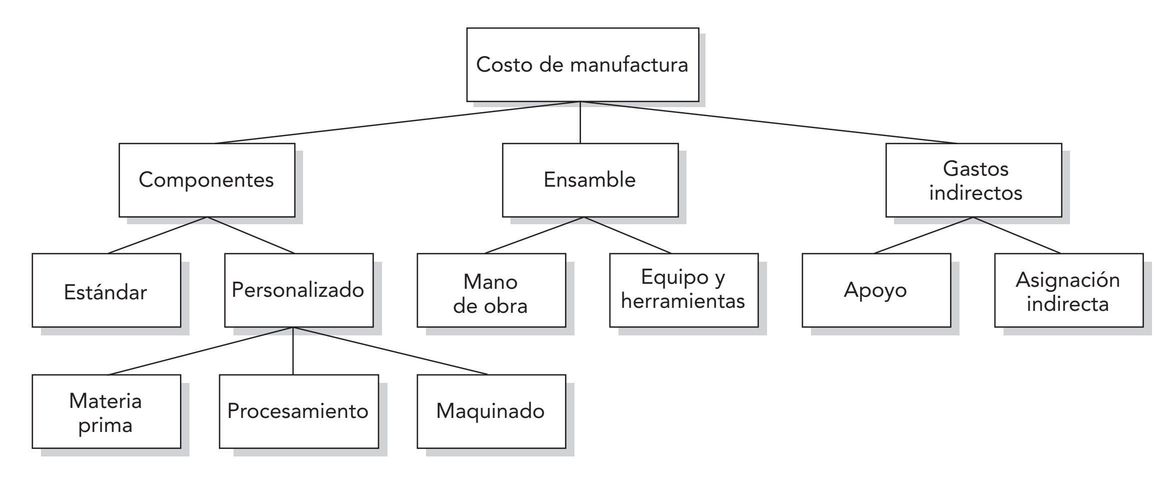


FIGURA 13-5 Elementos del costo de manufactura de un producto.

2. ***Costos de ensamble:*** Los artículos discretos generalmente se ensamblan con partes. El proceso de ensamble casi siempre causa costos de mano de obra y también puede causar costos por equipo y herramental.
3. ***Costos indirectos:*** Indirecta es la categoría que se usa para englobar los demás costos. Encontramos útil distinguir entre dos tipos de gastos indirectos o generales: *costos de soporte* y *asignaciones indirectas.* Los costos de soporte son los asociados con manejo de materiales, aseguramiento de calidad, adquisiciones, embarque, recepción, instalaciones y mantenimiento de equipo herramental, entre otros. Éstos son los sistemas de apoyo requeridos para manufacturar el producto y estos costos dependen en gran medida del diseño del producto. No obstante, dado que estos costos con frecuencia son compartidos por más de una línea de productos, se agrupan en la categoría de gastos indirectos o generales. Las asignaciones indirectas son los costos de manufactura que no pueden estar directamente unidos a un producto particular sino que deben pagarse para estar en operación. Por ejemplo, el salario del guardia de seguridad y el costo de mantenimiento del edificio y terrenos son costos indirectos porque estas actividades se comparten entre productos diferentes y son difíciles de asignar directamente a un producto específico. Debido a que los costos indirectos no están enlazados de modo específico al diseño del producto, no son de relevancia para el diseño para manufactura (DPM), aun cuando contribuyen al costo del producto.

Costos de transporte

El modelo de costo de manufactura de la figura 13-5 no incluye costos de transporte de bienes terminados mediante el sistema de distribución. La manufactura suele efectuarse en una ubicación muy distante del cliente en potencia. Aunque el método de DPM que presentamos aquí no incluye de manera explícita el gasto de transporte, es más o menos sencillo estimar estos costos. Por ejemplo, la mayoría de los bienes se transportan por barco en contenedores normales con una capacidad de casi 70 metros cúbicos de carga. Casi siempre, estos contenedores se envían de un lugar a otro con un costo fijo. Hoy en día, el costo de enviar un contenedor entre Asia y Estados Unidos es de más o menos 6 000 dólares, lo que da una tarifa de costo de envío de 86 dólares por metro cuadrado. Las tarifas de envío por aire y carretera, si bien se basan en una combinación de peso y volumen, también se obtienen con facilidad. A partir de estas tarifas, el equipo de diseño de producto puede incluir sin problemas los costos de transporte en su análisis, y hacer esto puede ser necesario cuando el equipo enfrenta decisiones concernientes al volumen físico o peso del producto.

Costos fijos contra costos variables

Otra forma de dividir costos de manufactura es entre *costos fijos* y *costos variables*. Los costos fijos son aquellos en los que se incurre en una cantidad predeterminada, sin considerar cuántas unidades del producto se fabriquen. La compra del molde de inyección necesario para un nuevo múltiple de admisión es un ejemplo de un costo fijo. Si se producen 1 000 o un millón de unidades, el costo fijo del molde no cambia. Otro ejemplo es el costo de preparar el lugar de trabajo de la fábrica para la línea de ensamble del múltiple de admisión. Este costo también es fijo, sin considerar cuántas unidades se produzcan. A pesar de la terminología, ningún costo es verdaderamente fijo. Si cuadruplicamos la cantidad de producción, quizás habría necesidad de construir otra línea de ensamble. Por el contrario, podemos fortalecer dos áreas de ensamble si no podemos usar toda la capacidad debido a cantidades de producción mucho

Componente	Materiales comprados	Procesamiento (maquinado + mano de obra)	Ensamble (mano de obra)	Costo total variable unitario	Herramental y otros NRE; miles de unidades	Vida útil de herramental, miles de unidades	Costo fijo unitario total	Costo total
Múltiple maquinado fundición	12.83	5.23		18.06	1960	500+	0.50	18.56
Tubo de retorno de gases de escape (NRE)	1.30		0.15	1.45				1.45
Conjunto de la PCV								
Válvula	1.35		0.14	1.49				1.49
Junta	0.05		0.13	0.18				0.18
Tapa	0.76		0.13	0.89				0.89
Tornillos (3)	0.06		0.15	0.21				0.21
Conjunto de bloque de fuente de vacío								
Bloque	0.95		0.13	1.08				1.08
Junta	0.03		0.05	0.08				0.08
Tornillo	0.02		0.09	0.11				0.11
Costos directos totales	17.35	5.23	0.95	23.53	1960	0.50		24.03
Cargos indirectos	2.60	9.42	1.71			0.75		14.48
Costo total								**38.51**

FIGURA 13-6 Lista de materiales que muestra estimaciones de costo para el múltiple de admisión original y componentes relacionados. La EGR (recirculación de gases de escape), la PCV (ventilación positiva del cárter) y los componentes de vacío del bloque están incluidos aquí para facilitar la comparación con el conjunto rediseñado del múltiple.

menores. Cuando se considere un costo como fijo deben especificarse los márgenes de cantidades de producción y del horizonte de tiempo.

Los costos variables son aquellos en que se incurre en proporción directa al número de unidades producidas. Por ejemplo, el costo de materias primas es directamente proporcional a la cantidad de múltiples de admisión producida, y por lo tanto a cuantos motores V6 de 3.8 litros se producen. La mano de obra para ensamble a veces se considera también un costo variable porque muchas empresas pueden ajustar el personal de operaciones de ensamble al cambiar trabajadores a otros lugares en poco tiempo.

La lista de materiales

En vista de que la estimación del costo de manufactura es fundamental para el diseño para manufactura (DPM), es útil mantener bien organizada esta información. La figura 13-6 muestra un sistema de información para registrar estimaciones de costo de manufactura. Básicamente está formado por una lista de materiales (BOM, *bill of materials*) aumentada con información de costo. La BOM es una lista de cada componente individual del producto. Es frecuente crear la BOM usando un formato con sangría en el que la "estructura de árbol" del ensamble está ilustrada por la sangría de nombres de componentes y subconjuntos.

Las columnas de la BOM muestran las estimaciones de costo desglosadas en costos fijos y variables. Los costos variables pueden incluir materiales, tiempo de maquinado y mano de obra. Los costos fijos constan de herramental y otros gastos no recurrentes (NRE, *nonrecurring expenses*) como es el equipo especializado y costos únicos de preparación. La vida útil del herramental se usa para calcular el costo fijo unitario (a menos que la vida útil esperada de la herramienta exceda la vida útil del volumen de producción, en cuyo caso se usa el volumen de producción menor de producto). Para calcular el costo total, el costo indirecto se suma de acuerdo con el esquema de contabilidad de costos aceptado por la empresa. Nótese que los costos fijos adicionales, por ejemplo depreciación de bienes de producción usados para varios productos, con frecuencia se incluyen en el cargo indirecto o general.

Estimación de costos de componentes estándar

Los costos de componentes estándar se estiman ya sea 1) comparando cada pieza con otra muy semejante que la empresa ya esté produciendo o comprando en volúmenes comparables, o 2) solicitando cotización de precios a vendedores o proveedores. Los costos de componentes menores (por ejemplo tornillos, resortes e insertos) usualmente se obtienen de la experiencia de la empresa con componentes similares, mientras que los costos de componentes grandes por lo general se obtienen de cotizaciones de vendedores.

Al obtener cotizaciones de precios, las cantidades de producción estimadas son sumamente importantes. Por ejemplo, el precio unitario en una compra de una docena de tornillos o insertos puede ser 10 veces más alto que los precios unitarios pagados por GM cuando compra 100 000 de estas piezas cada mes. Si las cantidades de producción anticipada son bastante altas, un ingeniero de aplicación o un ingeniero de ventas en general están dispuestos a trabajar con el equipo de desarrollo para especificar un componente en forma apropiada. Para componentes estándar fabricados en la propia empresa, si las cantidades requeridas son altas, puede no haber capacidad de producción y necesitarse la compra de equipo adicional o el uso de proveedores externos.

Algunos proveedores diseñarán y fabricarán una variación especial a un componente estándar si las cantidades de producción son suficientemente altas. Por ejemplo, motores eléctricos pequeños, como los que se encuentran en herramientas eléctricas de mano, con frecuencia se diseñan y construyen de manera específica para la aplicación del producto. Si las cantidades de producción son suficientemente altas (por ejemplo, 100 000 por año en este caso), estos motores especiales son bastante económicos (de uno a cinco dólares por unidad, dependiendo de las características de rendimiento). Para el múltiple de admisión, los volúmenes son tan altos que los tornillos, bujes y otras piezas personalizadas pueden no costar mucho más que los componentes estándar. No obstante, como veremos más adelante, introducir piezas nuevas puede agregar costo considerable y complejidad al sistema de producción y operaciones de servicio de campo, lo cual aumenta los costos de soporte.

Los vendedores para casi todos los componentes estándar pueden hallarse en el *Thomas Register of American Manufacturers* o buscarse por nombres de compañías o componentes empleados en productos conexos. Para obtener una cotización de precios, primero solicite un catálogo o literatura del producto (ahora generalmente disponible en internet). A continuación, escoja un número de parte o, si se usa un componente especial, escriba una descripción de una página de los requisitos del componente. A continuación, llame al vendedor, pida hablar con alguien en “ventas” y solicite información de precios. Asegúrese de informar al vendedor que la información es sólo para estimaciones ya que de otro modo puede decir que no tiene información suficiente para determinar precios exactos.

Estimación de costos de componentes personalizados

Los componentes personalizados, que son piezas diseñadas especialmente para el producto, son hechos por el fabricante o por un proveedor. Casi todos los componentes personalizados se fabrican usando los mismos tipos de procesos de producción con que se elaboran los componentes estándar (por ejemplo, moldeo por inyección, troquelado, maquinado); no obstante, las piezas personalizadas suelen ser para fines especiales, útiles sólo en los productos de un fabricante en particular.

Cuando el componente personalizado es una sola pieza, estimamos su costo al sumar los costos de materias primas, procesamiento y herramental. En casos donde el componente personalizado sea en realidad un conjunto de varias piezas, entonces lo consideramos como "producto" de sí mismo; para llegar al costo de este "producto" estimamos el costo de cada subcomponente y luego sumamos el ensamble y costos indirectos (estos costos se describen a continuación). Para los fines de esta explicación, suponemos que el componente es una sola pieza.

Los costos de materias primas se pueden estimar al calcular la masa de la pieza, tomando en cuenta algún porcentaje de desperdicio (por ejemplo, de 5 a 50 por ciento para una pieza moldeada a inyección y de 25 a 100 por ciento para una pieza de lámina de metal), y multiplicando por el costo (por masa unitaria) de la materia prima. Una tabla de costos de materias primas se da en el apéndice A (figura 13-17).

Los costos de procesamiento incluyen costos para el o los operadores de la maquinaria de procesamiento así como el costo de usar el equipo mismo. Casi todo el equipo estándar de procesamiento cuesta entre 25 dólares por hora (una simple prensa troqueladora) y 75 dólares por hora (una fresadora de control numérico de tamaño medio) para operar, incluyendo depreciación, mantenimiento, energía eléctrica y costos de mano de obra. La estimación del tiempo de procesamiento generalmente requiere experiencia con el tipo de equipo a usar. No obstante, es útil entender el margen de costos típicos para procesos de producción comunes. Para este propósito, en el apéndice B se dan tablas de tiempos de procesamiento aproximados y costos para una variedad de estampados, fundiciones, moldeados por inyección y piezas maquinadas.

Costo variable		
Materiales	5.7 kg de aluminio a $2.25/kg	$12.83
Procesamiento (fundición)	150 unidades/h a $530/h	3.53
Procesamiento (maquinado)	200 unidades/h a $340/h	1.70
Costo fijo		
Maquinado y fundición	$160 000/máq a 500K unidades /máq (vida útil)	0.32
Máquinas herramienta y accesorios	$1 800 000/línea a 10 M unidades (vida útil)	0.18
Costo directo total		**$18.56**
Cargos indirectos		$12.09
Costo unitario total		**$30.65**

FIGURA 13-7 Estimación de costo para el múltiple de admisión original. Nótese que los costos de procesamiento para fundición y maquinado reflejan los costos para una línea completa de fundición y varias estaciones de maquinado.

Se incurre en costos de maquinados para el diseño y fabricación de los cortadores, moldes, dados o accesorios requeridos para usar cierta maquinaria para fabricar piezas. Por ejemplo, una máquina de moldeo por inyección requiere de un molde especial de inyección para cada tipo diferente de pieza que produce. Estos moldes generalmente tienen un rango de costo desde 10 000 hasta 500 000 dólares. Los costos aproximados de herramental también se dan para las piezas que aparecen en lista en el apéndice B. El costo unitario de herramental es simplemente el costo del herramental dividido entre el número de unidades que han de hacerse en la vida útil de la herramienta. Un molde de alta calidad para inyección o troquel, por lo general puede usarse para varios millones de piezas.

El costo de la pieza fundida y maquinada del múltiple de admisión original se estima como se ve en la figura 13-7. Nótese que la estimación revela que el costo está dominado por el gasto del material de aluminio. Veremos que el rediseño usando un material compuesto no sólo redujo los costos de materiales, sino que también eliminó el maquinado y permitió formar numerosas características en el cuerpo moldeado.

Estimación del costo de ensamble

Los productos formados por más de una pieza requieren ensamble. Para productos fabricados en cantidades de menos de varios cientos de miles de unidades por año, este ensamble casi siempre se realiza a mano. Una excepción a esta generalización es el ensamble de tarjetas de circuitos electrónicos, que ahora casi siempre se hace de manera automática, incluso a volúmenes relativamente bajos.

Los costos de ensamble manual se pueden calcular sumando el tiempo estimado de cada operación de ensamble y multiplicando por una tasa de mano de obra. Las operaciones de ensamble requieren de cuatro a 60 segundos cada una, dependiendo del tamaño de las piezas, la dificultad de la operación y las cantidades de producción. A volúmenes altos, los trabajadores pueden especializarse en un conjunto particular de operaciones, y en herramientas y accesorios especiales que ayudan en el ensamble. El apéndice C contiene una tabla de tiempos aproximados para ensamble manual de varios productos, que es útil para estimar el rango de tiempos requeridos para operaciones de ensamble. Un método popular para estimar tiempos de ensamble ha sido desarrollado en los últimos 30 años por la Boothroyd Dewhurst Inc., y ahora se encuentra como herramienta de software. Este método contiene un sistema de información tabular para dar seguimiento a los tiempos estimados de ensamble para cada pieza. El sistema se apoya en una base de datos completa de tiempos estándar de manejo e inserción para una amplia variedad de situaciones. También existe software especial para estimar el costo de ensamble de tarjetas de circuitos electrónicos.

La mano de obra de ensamble puede costar desde menos de un dólar por hora en países de bajos salarios, hasta más de 40 dólares por hora en algunas naciones industrializadas. En Estados Unidos, es probable que el costo de la mano de obra por ensamble esté entre 10 y 20 dólares por hora. (Cada empresa tiene diferentes estructuras de costo de mano de obra por ensamble y algunas industrias; por ejemplo, las de automóviles y de aviones tienen estructuras de costo mucho más altas.) Estas cifras incluyen un descuento por prestaciones y otros gastos relacionados con el trabajador y tienen la intención de reflejar el costo verdadero para la empresa por mano de obra para ensamble.

Considere el múltiple de admisión rediseñado. El costo de ensamble del conjunto de la válvula PCV (*positive crankcase ventilation*, ventilación positiva del cárter) se estima como se ve en la figura 13-8.

Componente	**Cantidad de manejo**	**Tiempo de manejo**	**Tiempo total de inserción**	**Tiempo**
Válvula	1	1.50	1.50	3.00
Sello "O" de hule	2	2.25	4.00	12.50
Resorte	1	2.25	6.00	8.25
Cubierta	1	1.95	6.00	7.95
Tiempo total (segundos)				**31.70**
Costo de ensamble $45/h				**$0.40**

Fuente: Tablas de ensamble manual de Boothroyd and Dewhurst, 1989.

FIGURA 13-8 Estimación del costo de ensamble para la válvula PCV del múltiple de admisión rediseñado.

Estimación de costos indirectos

La estimación precisa de costos indirectos para un nuevo producto es difícil y las prácticas en la industria no son muy satisfactorias. No obstante, describiremos la práctica estándar en la industria e identificaremos algunos de sus problemas. La aplicación de los esquemas de estimación de costos indirectos que emplean casi todas las empresas es sencilla, pero no es éste el caso para los costos indirectos en que incurre una empresa por un producto en particular. Los costos indirectos por apoyar la producción son muy difíciles de rastrear y asignar a líneas de productos en particular. Los costos futuros de apoyar la producción son todavía más difíciles de predecir para un nuevo producto.

La mayor parte de las empresas asignan cargos indirectos mediante el uso de *tasas indirectas* (también llamadas tasas de gastos indirectos). Las tasas indirectas por lo general se aplican a uno o dos *impulsores o elevadores de costos.* Los impulsores de costos son parámetros del producto que se miden directamente. Los cargos indirectos se suman a costos directos en proporción a los impulsores. Los impulsores comunes de costos son el costo de cualesquiera materiales comprados, el costo de mano de obra de ensamble y el número de horas de tiempo de equipo que consume el producto. Por ejemplo, la tasa indirecta para materiales comprados podría ser de 10 por ciento y la tasa indirecta por mano de obra de ensamble podría ser de 80 por ciento. (Desde luego, los componentes comprados ya tienen el costo indirecto del vendedor incluido en el precio; sólo sumamos el costo indirecto por la compra.) Bajo estas condiciones, un producto que contenga 100 dólares de componentes comprados y 10 dólares de mano de obra de ensamble incurriría en 18 dólares de costos indirectos (10 por ciento de 100 dólares más 80 por ciento de 10 dólares). Algunas estructuras típicas de costos indirectos se dan en el apéndice D para diferentes tipos de productos y empresas.

El problema con este esquema es que implica que los costos indirectos son directamente proporcionales a los impulsores de costo. Un experimento de participación deja ver que esto no siempre es así: casi todas las empresas usan "costo de materiales comprados" como un impulsor de costo, pero ¿por qué cambiaría cualquiera de sus costos si un vendedor de un componente de 50 dólares sube su precio a 60 dólares? La respuesta es que no cambiarían en absoluto sus costos. Las tasas indirectas se usan como una forma cómoda de considerar costos indirectos, pero este esquema puede dar estimaciones imprecisas de los costos verdaderos experimentados por el fabricante para apoyar su producción.

Este problema se resuelve en parte por métodos de costeo basados en actividad (ABC, *activity-based costing*) (Kaplan, 1990). Bajo el método ABC, una empresa utiliza más y diferentes impulsores de costos y asigna todos los costos indirectos a los impulsores de costo asociados en donde de ajusten mejor. En consecuencia, la empresa puede tener tasas indirectas aplicadas a varias dimensiones de complejidad de un producto (por ejemplo, el número de operaciones diferentes de maquinado necesarias o el número de componentes diferentes o los proveedores necesarios), además de costos indirectos en herramental, materiales, tiempo de máquina y mano de obra directa. Para los fines de estimar costos de manufactura, el uso de más impulsores de costos no sólo permite hacer estimaciones de costos indirectos más precisas, sino que también da importantes ideas para reducir costos indirectos al enfocar la atención en los impulsores de costos.

Paso 2: Reducir los costos de componentes

Para casi todos los artículos ingenieriles discretos, el costo de componentes comprados será el elemento más importante del costo de manufactura. Esta sección presenta varias estrategias para minimizar estos costos. Muchas de estas estrategias se pueden seguir incluso sin la ventaja de estimaciones precisas de costos. En este caso, estas estrategias se convierten en *reglas de diseño*, o reglas prácticas, para guiar las decisiones de reducción de costos del diseño para manufactura.

Entender las restricciones del proceso y los impulsores de costos

Algunas partes pueden ser costosas simplemente porque los diseñadores no entendieron las capacidades, los impulsores de costos y los límites del proceso de producción. Por ejemplo, un diseñador puede especificar un pequeño radio interno en la esquina de una pieza maquinada, sin darse cuenta de que crear físicamente esa característica requiere de una costosa operación de maquinado por electroerosión (EDM, *electro-discharge machining*). Un diseñador puede especificar dimensiones con tolerancias excesivamente estrictas, sin entender la dificultad de alcanzar esa precisión en producción. A veces estas costosas características de piezas ni siquiera son necesarias para la función pretendida del componente; surgen de la falta de conocimiento. Con frecuencia es posible rediseñar la pieza para obtener el mismo funcionamiento, pero evitando costosos pasos de manufactura; no obstante, para hacer esto el ingeniero de diseño necesita saber qué tipos de operaciones son difíciles en producción y qué es lo que determina sus costos.

En algunos casos, las restricciones de un proceso pueden comunicarse de una manera breve a diseñadores en la forma de reglas de diseño. Por ejemplo, las capacidades de una máquina automática de corte con rayo láser para láminas de metal pueden comunicarse en forma concisa en términos de tipos permisibles de material, grosor del material, dimensiones máximas de la pieza, anchos mínimos de ranura y precisión de corte. Cuando esto es posible, los diseñadores de piezas pueden evitar exceder las capacidades normales de un proceso y por lo tanto evitar incurrir en costos extremadamente altos.

En ciertos procesos, el costo de producir una pieza es una simple función matemática de algunos atributos de la pieza, que serían los impulsores de costos para el proceso. Por ejemplo, un proceso de soldadura podría tener un costo directamente proporcional a dos atributos del producto: 1) el número de soldaduras y 2) la longitud total de las soldaduras que realiza la máquina.

En procesos cuyas capacidades no se describen con facilidad, la mejor estrategia es trabajar estrechamente con personas que entiendan a profundidad el proceso de producción de la pieza. Estos expertos en manufactura por lo general tendrán numerosas ideas acerca de cómo rediseñar componentes para reducir costos de producción.

Rediseñar componentes para eliminar pasos de procesamiento

Un cuidadoso escrutinio del diseño propuesto puede llevar a sugerencias para rediseño que pueden resultar en la simplificación del proceso de producción. La reducción del número de pasos en el proceso de fabricación de la pieza resulta por lo general también en una baja de costos. Algunos pasos del proceso pueden simplemente no ser necesarios. Por ejemplo, puede ser innecesario pintar piezas de aluminio, en especial si no son visibles al usuario del producto. En algunos casos, varios pasos pueden eliminarse por sustitución de un paso alternativo de proceso. Un ejemplo común de esta estrategia es la fabricación de "forma neta"; ésta produce una pieza con la geometría final pretendida en un solo paso de manufactura. Ejemplos típicos son el moldeo, fundición, forja y extrusión. Es frecuente que los diseñadores puedan usar uno de los procesos de forma neta para crear una pieza que es muy cercana al requisito final (forma casi neta) y puede demandar sólo un pequeño procesamiento adicional (por ejemplo, taladrado y roscado interior de un agujero, cortando a lo largo).

El múltiple de admisión original requirió de costosas operaciones de fundición, seguidas por varias de maquinado. El múltiple rediseñado se moldea en dos partes a su forma neta. La estimación del costo para estos dos moldes se ve en la figura 13-9. (Compare con la figura 13-7.)

Seleccionar la escala económica apropiada para procesar la pieza

El costo de manufactura de un producto por lo general baja a medida que aumenta el volumen de producción. Este fenómeno se conoce como *economía de escala*, que para un componente

Costo variable		
Materiales (caja del múltiple)	Nailon de 1.4 kg lleno de vidrio a $2.75/kg	$ 3.85
Materiales (inserto de corredera de admisión)	Nailon de 0.3 kg lleno de vidrio a $2.75/kg	0.83
Molde (caja del múltiple)	80 unidades/h a $125/h	1.56
Moldeo (inserto de corredera de admisión)	100 unidades/h a $110/h	1.10
Costo fijo		
Maquinar molde (caja del múltiple)	$350 000/herramienta a 1.5 M unidades/herramienta	$ 0.23
Maquinar molde (inserto de corredera de admisión)	$150 000/herramienta a 1.5 M unidades/herramienta	0.10
Costo directo total		**$ 7.67**
Cargos indirectos		$ 5.99
Costo unitario total		**$13.66**

FIGURA 13-9 Estimación de costo para el múltiple de admisión rediseñado (dos moldes).

fabricado se presenta por dos razones básicas: 1) los costos fijos se dividen entre más unidades y 2) los costos variables bajan más porque la empresa puede justificar el uso de procesos y equipos más grandes y más eficientes. Por ejemplo, considere una pieza de plástico moldeada por inyección. La pieza puede requerir un molde que cuesta 50 000 dólares. Si la empresa produce 50 000 unidades de la pieza en la vida útil del producto, cada pieza tendrá que asumir 1 dólar del costo del molde, pero si se producen 100 000 unidades, cada pieza asumirá sólo 0.50 dólares del costo del molde. Cuando los volúmenes de producción aumentan más, la empresa puede justificar un molde de cuatro cavidades, con el cual cada ciclo de la máquina de moldeo produce cuatro piezas en lugar de una. Como se ve en la figura 13-9, los costos del herramental para el múltiple de admisión rediseñado son bastante altos, pero al repartirlos en la vida útil de la herramienta, el costo fijo unitario es pequeño.

Los procesos pueden considerarse como causantes de costos fijos y variables. Los costos fijos ocurren una vez por tipo de parte, sin tomar en cuenta cuántas piezas se producen. Los costos variables se causan cada vez que se fabrica una pieza. Los procesos con costos fijos inherentemente bajos y costos variables altos, por ejemplo el maquinado, son apropiados cuando se hacen pocas piezas, mientras que los procesos con costos fijos inherentemente altos y costos variables bajos, por ejemplo el moldeo por inyección, son apropiados cuando se hacen muchas piezas. Este concepto está ilustrado por la gráfica de la figura 13-10. Como se ve en la figura, si se espera que el volumen de producción sea de menos de 1 000 unidades, el maquinado sería más económico; de otra forma, el moldeo por inyección incurriría en costos totales más bajos.

Estandarizar componentes y procesos

El principio de economías de escala también se aplica a la selección de componentes y procesos. Cuando aumenta el volumen de producción de un componente, disminuye el costo unitario del componente. La calidad y el rendimiento con frecuencia aumentan también con canti-

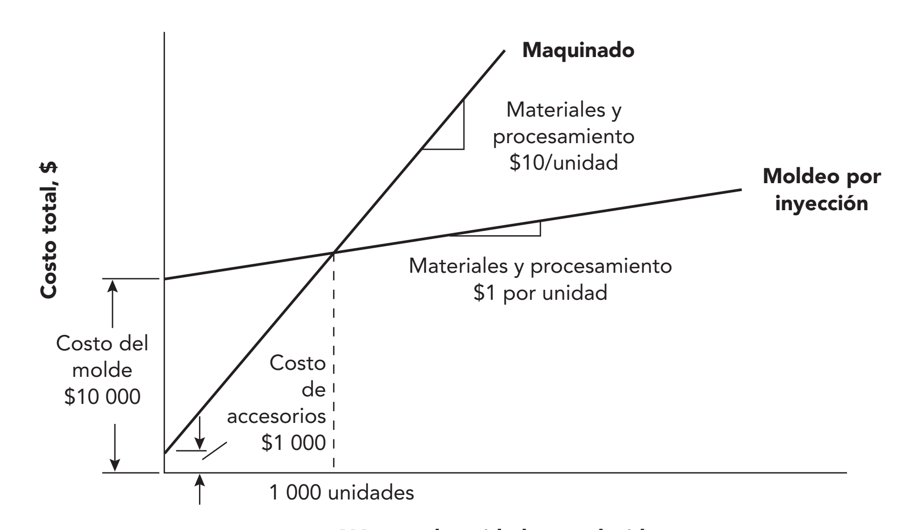


FIGURA 13-10 Costo total de una pieza hipotética como función del número de unidades producidas por moldeo de inyección contra maquinado.

dades crecientes de producción porque el productor del componente puede invertir en aprender y mejorar el diseño del componente y su proceso de producción. Para un volumen dado y esperado de producto, las ventajas de volúmenes sustancialmente más altos de componentes se pueden lograr mediante el uso de componentes estándar.

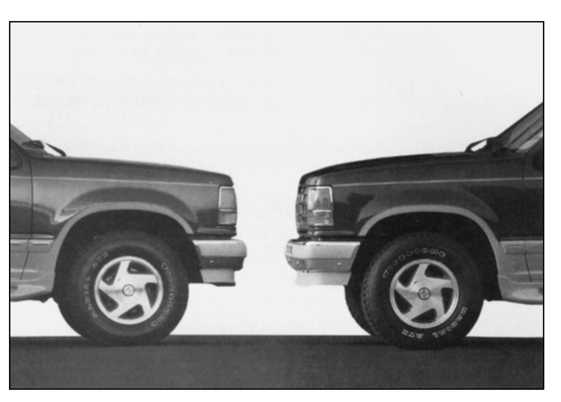
Los componentes estándar se caracterizan por ser comunes a más de un producto. Esta estandarización puede ocurrir dentro de la línea del producto de una sola empresa o bien, vía un proveedor externo, a través de las líneas de producción de varias empresas. Por ejemplo, el uso del motor V6 de 3.8 litros en varios automóviles de la GM es un ejemplo de *estandarización interna*. El uso de un tornillo prisionero común de cabeza hexagonal de 10 milímetros en varias firmas automotrices es un ejemplo de *estandarización externa*. En cualquier caso, si las demás cosas permanecen igual, el costo unitario del componente es menor que si el componente se usara en un solo producto.

El múltiple de admisión rediseñado se emplea en todos los motores V6 de 3.8 litros de la GM, aun cuando cada aplicación particular en un vehículo requiera de diferentes rutas de manguera de vacío y retorno EGR (*exhaust gas recirculation*, recirculación de gases de escape). Para acomodar esto, el nuevo múltiple de admisión tiene dos interfases estándar, un puerto de vacío y un puerto de EGR. Para cada modelo de vehículo, se utilizan un bloque especial de vacío y un adaptador del EGR, lo cual permite que el componente principal, el múltiple de admisión, sea estandarizado internamente en lugar de usar un múltiple diferente para cada vehículo.

Los componentes también se pueden estandarizar dentro del mismo modelo. Por ejemplo, la mayor parte de los fabricantes usan el mismo tipo de rueda en el lado derecho e izquierdo de sus automóviles, aun cuando esto hace que los "brazos" direccionales tengan distintas orientaciones en diferentes lados (figura 13-11).

Apegarse a la adquisición de componente de "caja negra"

La estrategia de reducción del costo de un componente que se usa en la industria automotriz de Japón se denomina diseño de *caja negra* del proveedor. Bajo este método el equipo da a un proveedor sólo una descripción de caja negra del componente, es decir, una descripción de lo que el componente tiene que hacer, no cómo hacerlo (Clark y Fujimoto, 1991). Esta clase de especificación deja al proveedor con la más amplia libertad posible para diseñar o seleccionar el componente para lograr un costo mínimo. Una ventaja adicional de este método es que releva al equipo interno de la responsabilidad de construir y diseñar el componente. El trabajo exitoso de desarrollo de caja negra requiere de un cuidadoso diseño a nivel del sistema y definiciones extremadamente claras de las funciones, interfases e interacciones de cada componente. (Vea el capítulo 10, Arquitectura del producto.)



Cortesía de Ford Motor Co.

FIGURA 13-11 Ejemplo de estandarización dentro de un modelo. Las ruedas del Ford Explorer son iguales en los lados derecho e izquierdo.

Para el múltiple de admisión rediseñado, el conjunto de la válvula PCV fue diseñado por la división AC Rochester de la GM, que suministra el componente. El proveedor recibió especificaciones a nivel del sistema y la completa responsabilidad para el funcionamiento de este subsistema.

Paso 3: Disminuir los costos de ensamble

El *diseño para ensamble* (DFA, *design for assembly*) es un subconjunto bien establecido del diseño para manufactura (DPM) que abarca la disminución del costo del ensamble. Para casi todos los productos, el ensamble constituye una parte relativamente pequeña del costo total. No obstante, concentrar la atención en los costos de ensamble da grandes ventajas indirectas. Es frecuente que como resultado de la importancia que se da al DFA, la cantidad total de piezas, la complejidad de manufactura y los costos de soporte se reduzcan junto con el costo del ensamble. En esta sección presentamos algunos principios útiles para guiar las decisiones del diseño para ensamble.

Seguimiento de una puntuación

Boothroyd y Dewhurst (1989) están a favor de mantener una estimación vigente del costo de ensamble. Además de esta puntuación absoluta, proponen el concepto de *eficiencia del ensamble*. Ésta se mide como un índice que es la relación entre el *tiempo mínimo teórico de ensamble* y una estimación del tiempo real de ensamble para el producto. Este concepto es útil para el desarrollo de una "intuición" sobre lo que impulsa el costo del ensamble. Esta expresión para el *índice DFA* es

$$\text{Índice DFA} = \frac{(\text{Número mínimo teórico de piezas}) \times (3 \text{ segundos})}{\text{Tiempo total estimado de ensamble}}$$

Para determinar el número mínimo teórico de piezas, haga las siguientes tres preguntas sobre cada pieza del ensamble propuesto. Sólo piezas que satisfagan una o más de estas condiciones deben separarse "teóricamente".

1. ¿La pieza necesita moverse respecto al resto del conjunto? Pequeños movimientos que puedan lograrse por conformidad no cuentan (por ejemplo bisagras elásticas o resortes).
2. ¿La pieza debe hacerse de un material diferente del usado en el resto del conjunto por razones físicas fundamentales?
3. ¿La pieza debe separarse del conjunto para tener acceso, cambiar o reparar el conjunto?

Los "3 segundos" del numerador reflejan el tiempo mínimo teórico necesario para manejar e insertar una pieza que está perfectamente adaptada para el ensamble. Uno puede considerar esto como el tiempo promedio (sostenible en todo un turno de trabajo) requerido para ensamblar una pequeña pieza que es fácil de sujetar, no requiere orientación particular y no demanda trabajo especial para insertarla; esa operación es tan rápida como colocar una bola en un agujero circular con espacio adecuado.

Integrar piezas

Si una pieza no satisface los requisitos de una de las teóricamente necesarias, entonces es candidata para su integración física con una o más de las otras piezas. El componente multifuncional resultante es a veces muy complejo, como consecuencia de la integración de formas geométricas diferentes que de otro modo serían piezas separadas. No obstante, las partes moldeadas o troqueladas pueden a veces incorporar formas adicionales a muy poco o ningún costo agregado. La figura 13-12 muestra el extremo del regulador de admisión de gases del múltiple de admisión rediseñado. Integrados en este componente están los aditamentos para el retorno

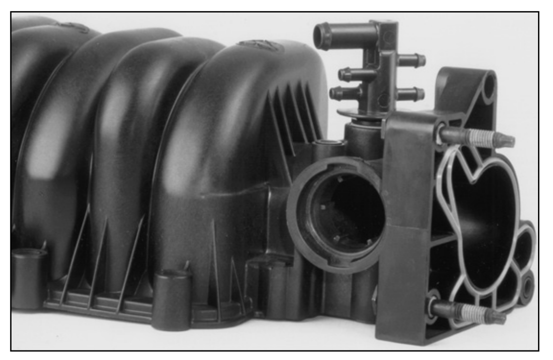


Foto por Stuart Cohen

FIGURA 13-12 Integración de varias figuras en un solo componente. Los puertos del retorno de recirculación de gases de escape y fuente de vacío están moldeados en el múltiple de admisión rediseñado.

de recirculación de gases y el bloque de fuente de vacío. Estos aditamentos usan una geometría moldeada de "empujar y girar", eliminando la necesidad de varios pernos roscados.

La integración de piezas produce varias ventajas:

- Las piezas integradas no tienen que ser ensambladas. En efecto, el "ensamble" de las figuras geométricas de la pieza se logra mediante el proceso de fabricación de piezas.
- Las piezas integradas son a veces menos costosas de fabricar que las piezas separadas a las que sustituyen. Para piezas moldeadas, troqueladas y fundidas, este ahorro en costo se presenta porque un solo molde o dado complejo suele ser menos costoso que dos o más moldes o dados menos complejos y porque suele haber menos tiempo de procesamiento y chatarra para la pieza individual integrada.
- Las piezas integradas permiten que las relaciones entre formas geométricas críticas sean controladas por el proceso de fabricación de la pieza (por ejemplo moldeo) en lugar de un proceso de ensamble. Esto por lo general significa que estas dimensiones puedan controlarse en forma más precisa.

Nótese, sin embargo, que la integración de piezas no siempre es una buena estrategia y puede estar en conflicto con otros métodos razonables de minimizar costos. Por ejemplo, el conjunto principal del múltiple de admisión era una sola pieza fundida que requería de mucho maquinado. El equipo sustituyó esta pieza con dos piezas moldeadas por inyección menos costosas. Éste es un ejemplo de desintegración de piezas para obtener ventajas en los costos de producción de piezas.

Maximizar la facilidad de ensamble

Dos productos con un número idéntico de piezas pueden diferir en un factor de dos o tres en tiempo de ensamble requerido. Esto es porque el tiempo real para tomar, orientar e insertar una pieza depende de la geometría de ésta y de la trayectoria requerida de su inserción. Las características ideales de una pieza para un ensamble son (adaptado de Boothroyd y Dewhurst, 1989):

- ***La pieza se inserta desde arriba del conjunto.*** Este atributo de una pieza y ensamble se denomina *ensamble en eje z*. Mediante el ensamble en eje z para todas las piezas, el conjunto nunca tiene que invertirse, la gravedad ayuda a estabilizar el ensamble parcial y el ensamblador generalmente puede ver el punto de ensamble.
- ***La pieza tiene alineamiento propio.*** Las piezas que necesitan un posicionamiento exacto en su ensamble requieren de movimientos lentos y precisos por parte del ensamblador. Las piezas y lugares de ensamble se pueden diseñar para tener alineamiento propio, de modo que el ensamblador no tiene que aplicar un estricto control motriz. La característica de alineamiento propio más común es el *bisel*. Un bisel puede implementarse como una punta cónica de una clavija o ensanchamiento cónico en la abertura de un agujero.

- ***No es necesario orientar la pieza.*** Las piezas que requieran orientación correcta, por ejemplo un tornillo, requieren de más tiempo de ensamble que las que no tengan que orientarse, por ejemplo una esfera. En el peor de los casos, una pieza debe orientarse en tres dimensiones. Por ejemplo, las siguientes piezas son una lista en orden de requisito creciente de orientación: esfera, cilindro, cilindro con tapa y cilindro con tapa y llave.
- ***La pieza requiere de sólo una mano para su ensamble.*** Esta característica se relaciona principalmente con el tamaño de la pieza y el trabajo necesario para manipularla. Si todo lo demás es igual, las piezas que requieran de sólo una mano para su ensamble necesitan menos tiempo que aquellas en las que hay que usar ambas manos, que a su vez requieren menos esfuerzo que las que hacen necesaria una grúa o montacargas para su ensamble.
- ***La pieza no requiere de herramientas.*** Las operaciones de ensamble que requieran de herramientas, como conjuntar anillos de ajuste rápido, resortes o chavetas, por lo general hacen necesario más tiempo que las que no necesitan de herramientas.
- ***La pieza se ensambla en un solo movimiento lineal.*** Empujar un perno tarda menos tiempo que meter un tornillo. Por esta razón, existen comercialmente numerosos sujetadores que requieren de un solo movimiento lineal para su inserción.
- ***La pieza se asegura inmediatamente al insertarla.*** Algunas piezas requieren una operación subsiguiente para asegurarla, como apriete, vulcanización o adición de otra pieza. Hasta que la pieza se encuentre asegurada, el ensamble puede ser inestable y requiere de cuidados extra, accesorios o un ensamble más lento.

Considere el ensamble por parte del cliente

Los clientes pueden aceptar completar algún ensamble de producto, en especial si con ello tienen alguna ventaja; por ejemplo, hacer la compra y manejar con más facilidad el producto empacado. No obstante, diseñar un producto tal que pueda ser fácil y correctamente ensamblado por los clientes más ineptos, muchos de los cuales no hacen caso de las instrucciones, es en sí un desafío importante.

Paso 4: Reducir los costos del apoyo a la producción

Al trabajar para reducir al mínimo los costos de componentes y de ensamble, el equipo puede también lograr reducciones en las demandas puestas en las funciones de apoyo a la producción. Por ejemplo, una disminución en el número de piezas baja las demandas en manejo de inventario. Una rebaja del contenido del ensamble decrece el número de trabajadores necesarios para producción y por lo tanto reduce el costo de supervisión y manejo de recursos humanos. Los componentes estandarizados aminoran las demandas en soporte de ingeniería y control de calidad. Hay, además, algunas acciones directas que el equipo puede tomar para restringir los costos de apoyar la producción.

Es importante recordar que las estimaciones del costo de manufactura son a veces insensibles a muchos de los factores que en realidad motivan los cargos indirectos. (Recuerde el análisis de estimación de costos indirectos que hicimos líneas antes.) No obstante, la meta del equipo de diseño en este sentido debe ser reducir los costos reales de apoyo a producción aun cuando las estimaciones de costos indirectos no cambien.

Minimizar la complejidad sistemática

Un sistema muy sencillo de manufactura utilizaría un solo proceso para transformar una sola materia prima en una pieza única, quizás un sistema para extrusión de una varilla de plástico de un solo diámetro hecha a partir de pelotitas de plástico. Desafortunadamente, existen pocos de estos sistemas. La complejidad resulta de una variedad en las entradas, salidas y procesos de transformación. Muchos sistemas reales de manufactura comprenden cientos de proveedores, miles de piezas diferentes, cientos de personas, docenas de tipos de productos y docenas de tipos de procesos de producción. Cada variante de proveedores, piezas, personas, productos y procesos introduce complejidad al sistema. Por lo general, a estas variantes se les debe dar seguimiento, vigilar, administrar, inspeccionar, manejar y llevar inventario a un costo enorme para la empresa. Mucha de esta complejidad es impulsada por el diseño del producto y puede, por lo tanto, ajustarse al mínimo a través de decisiones inteligentes de diseño.

La figura 13-13 muestra una tarjeta de valores de complejidad de manufactura, útil para recordarles a los diseñadores la forma en que el diseño del producto impulsa la complejidad del sistema de manufactura. El equipo establece una evaluación para el diseño inicial y luego utiliza cambios en la evaluación como una medida de éxito para reducir la complejidad. Nótese que los impulsores dados en la tarjeta mostrada son categorías genéricas. En la práctica, el equipo desarrolla esta lista (y puede darle prioridad con valores) con base en las realidades y limitantes del entorno de producción de la empresa. Las empresas que usan costeo con base en actividad por lo general conocen bastante bien a sus impulsores principales de complejidad, ya que éstos son impulsores que se usan para asignar gastos indirectos. Como simple sustituto para un preciso modelo de soporte de costo, esta tarjeta permite que el equipo tome decisiones informadas sin estimar formalmente los costos indirectos de producción.

Prueba de error

Un aspecto importante del diseño para manufactura (DPM) es anticipar los posibles modos de falla del sistema de producción y tomar medidas correctivas apropiadas en las primeras etapas del proceso de desarrollo. Esta estrategia se conoce como *prueba de error*. Un tipo de modo de falla aparece por tener piezas ligeramente distintas que se pueden confundir con facilidad. Ejemplos de estas piezas son tornillos que difieren sólo en el paso de las cuerdas (ejemplo, tornillos de 4 × .70 mm y 4 × .75 mm) o en la dirección de vuelta (cuerdas izquierda o derecha), piezas que son imágenes espejo una de otra y piezas que difieren sólo en composición de material.

Recomendamos que estas sutiles diferencias sean eliminadas o que las divergencias ligeras sean exageradas. La figura 13-14 muestra un ejemplo de exagerar sutiles diferencias entre

Impulsores de complejidad	Rev. 1	Rev. 2
Número de nuevas piezas introducidas en el sistema de manufactura	6	5
Número de nuevos proveedores introducido en el sistema de manufactura	3	2
Número de piezas personalizadas introducidas en el sistema de manufactura	2	3
Número de nuevas "herramientas mayores" (por ejemplo, moldes y dados) introducido en el sistema de manufactura	2	2
Número de nuevos procesos de producción introducidos en el sistema de manufactura	0	0
Total	**13**	**12**

FIGURA 13-13 Tarjeta de valores de complejidad de manufactura.

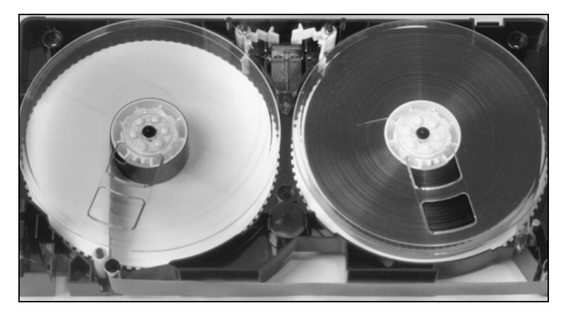


Foto de Stuart Cohen

FIGURA 13-14 Seguros izquierdo y derecho de carrete dentro de un videocasete (arriba centro). Las dos piezas casi idénticas tienen código de color para evitar confusión.

piezas: las versiones izquierda y derecha del seguro de carrete en un videocasete, que son imágenes espejo una de la otra, están moldeadas en dos colores diferentes. El código de color permite identificar las piezas con facilidad y diferenciarlas en el manejo y ensamble de materiales.

Paso 5: Considerar el efecto de decisiones del diseño para manufactura (DPM) en otros factores

Reducir al mínimo el costo de manufactura no es el único objetivo del proceso de desarrollo de un producto. El éxito económico de un producto también depende de su calidad, de la oportunidad en su introducción y del costo de desarrollarlo. También puede haber situaciones en las que el éxito económico de un proyecto se comprometa para llevar al máximo el éxito económico de toda la empresa. Al observar las decisiones del DPM, estos problemas deben considerarse explícitamente.

El efecto del DPM en el tiempo de desarrollo

El tiempo de desarrollo puede ser muy valioso. Para el proyecto de desarrollo de un automóvil, el tiempo puede valer hasta varios cientos de miles de dólares por día. Por esta razón, las decisiones del diseño para manufactura deben evaluarse por su trascendencia en el tiempo de desarrollo así como por su efecto en el costo de manufactura. Si bien el ahorro de un dólar en costo en cada múltiple vale quizás un millón de dólares en ahorro de costos en un año, casi no valdría la pena causar una demora de seis meses en el programa de un automóvil.

La relación entre el DPM y el tiempo de desarrollo es compleja. Aquí observamos algunos aspectos de la relación. La aplicación de varias directrices del diseño para ensamble (DPA) puede resultar en piezas muy complejas. Estas piezas pueden ser tan complejas que su diseño o la adquisición de herramental se convierten en la actividad que determina la duración del trabajo total de desarrollo (Ulrich *et al.*, 1993). Los beneficios del costo de la decisión del DPM quizá no valgan la demora en duración del proyecto. Esto es particularmente cierto para productos que compiten en mercados dinámicos.

El efecto del DPM en costo de desarrollo

El costo de desarrollo refleja estrechamente el tiempo de desarrollo. Por lo tanto, la misma precaución acerca de la relación entre complejidad de piezas y tiempo de desarrollo se aplica al costo de desarrollo. En general, los equipos que enérgicamente buscan bajos costos de manufactura como parte integral del proceso de desarrollo parecen estar en condiciones de desarrollar productos en más o menos el mismo tiempo y con el mismo presupuesto que otros equipos que no lo hacen. Por supuesto, parte de este fenómeno resulta de la correlación entre buenas prácticas de administración del proyecto y la aplicación de métodos sanos de diseño para manufactura.

El efecto del DPM en la calidad del producto

Antes de continuar con una decisión del diseño para manufactura (DPM), el equipo debe evaluar el efecto de la decisión en la calidad del producto. Bajo circunstancias ideales, las accio-

nes para reducir el costo de manufactura también mejorarían la calidad del producto. Por ejemplo, el nuevo múltiple de la GM resultó en disminución de costo, reducción de peso y mejor rendimiento del motor. No es raro que trabajos de diseño para manufactura enfocados principalmente en la rebaja de costos de manufactura también resulten en mejor facilidad de servicio, facilidad de desensamble y reciclado. No obstante, en algunos casos, las acciones para abatir el costo de manufactura pueden tener efectos adversos en la calidad del producto (por ejemplo, la confiabilidad o robustez), de modo que es aconsejable que el equipo recuerde las muchas dimensiones de calidad que son importantes para el producto.

El efecto del DPM en factores externos

Las decisiones de diseño pueden tener implicaciones más allá de las responsabilidades de un solo equipo de desarrollo. En términos económicos, estas implicaciones pueden ser vistas como factores externos. Dos de estos factores son la reutilización de componentes y los costos durante el ciclo de vida útil.

- ***Reutilización de componentes:*** Tomar tiempo y dinero para crear un componente de bajo costo puede ser de valor para otros equipos que diseñan productos semejantes. En general, este valor no se considera explícitamente en estimaciones de costos de manufactura. El equipo puede escoger una medida que en realidad es más costosa para su producto por las implicaciones de costo positivas para otros proyectos.
- ***Costos durante el ciclo de vida:*** Durante todos sus ciclos de vida, ciertos productos pueden causar algunos costos a la compañía o sociedad que no son (o sólo raras veces) considerados en el costo de manufactura. Por ejemplo, los productos pueden contener materiales tóxicos que requieran de cuidado especial para desecharlos. Los productos pueden causar costos de servicio y garantía. Aun cuando estos costos no aparezcan en el análisis de costos de manufactura, deben considerarse antes de adoptar una decisión del diseño para manufactura. El capítulo 12, Diseño para el ambiente, presenta un método detallado para abordar los costos del ciclo de vida.

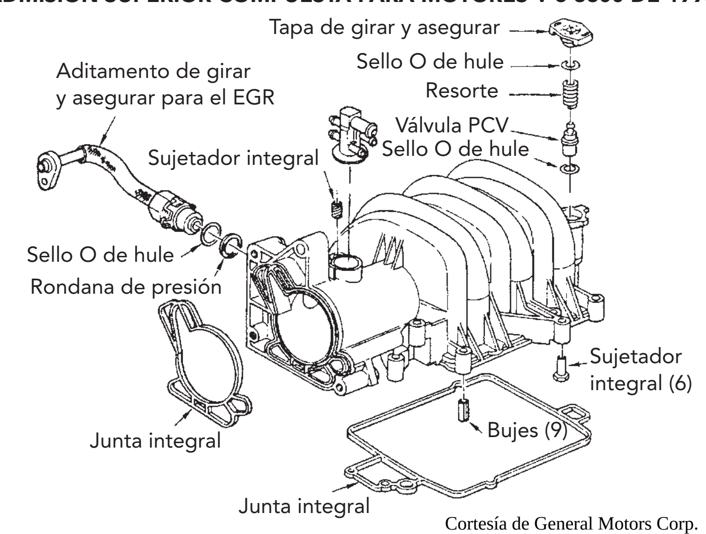
Resultados

Durante la década de 1980, las prácticas de diseño para manufactura se implantaron en miles de empresas. Hoy en día, el diseño para manufactura (DPM) es una parte esencial de casi todo trabajo de desarrollo de productos. Ya no pueden los diseñadores “lanzarles el diseño” a ingenieros de producción. Como consecuencia de este interés en mejorar la calidad del diseño, algunos fabricantes afirman haber reducido costos de fabricación de productos en hasta 50 por ciento. De hecho, al comparar los diseños de nuevos productos con anteriores generaciones, en general podemos identificar menos piezas en ellos, así como nuevos materiales, piezas más integradas y especiales, piezas y subconjuntos estándar en más alto volumen y procedimientos de ensamble más sencillos.

Un bosquejo del múltiple de admisión rediseñado se ve en la figura 13-15. Este trabajo de DPM logró resultados impresionantes. La figura 13-16 muestra la estimación de costo para el múltiple de admisión. (Compare con la figura 13-6.) Las mejoras sobre el diseño previo incluyen:

- Ahorros de 45 por ciento en costo unitario.
- Ahorro de 66 por ciento (3.3 kilogramos) en masa.
- Procedimientos simplificados de ensamble y servicio.

FIGURA 13-15 Múltiple de admisión rediseñado.



Cortesía de General Motors Corp.

Componente	Materiales comprados	Procesamiento (maquinado + mano de obra)	Ensamble (mano de obra)	Costo total variable unitario	Herramental y otros NRE; miles de $	Duración herramental miles de unidades	Costo total fijo unitario	Costo total
Caja de múltiple	3.85	1.56		5.41	350	1 500	0.23	5.65
Inserto de corredera de admisión	0.83	1.10	0.13	2.05	150	1 500	0.10	2.15
Insertos de acero (16)	0.32		1.00	1.32				1.32
Adaptador del EGR	1.70		0.13	1.83				1.83
Válvula PCV								
Válvula	0.85		0.04	0.89				0.89
Anillos O (2)	0.02		0.16	0.18				0.18
Resorte	0.08		0.10	0.18				0.18
Tapa	0.02		0.10	0.12				0.12
Bloque de fuente de vacío	0.04		0.06	0.10				0.10
Costos totales directos	7.71	2.66	1.71	12.08	5.00		0.33	12.41
Cargos indirectos	1.16	4.79	3.08				0.50	9.52
Costo total								**21.93**

FIGURA 13-16 Estimación de costo para el múltiple de admisión rediseñado.

- Rendimiento mejorado en emisiones debido a rutas del EGR en el múltiple.
- Rendimiento mejorado del motor debido a menores temperaturas de inducción de aire.

- Costos reducidos de embarque por componentes más ligeros.
- Más estandarización en programas de vehículos.

Para este producto, los ahorros en costo de fabricación ascienden a varios millones de dólares anualmente. Las otras ventajas citadas líneas antes también son importantes, aunque algo más difíciles de cuantificar.

Resumen

El diseño para manufactura (DPM) está destinado a reducir costos de manufactura y simultáneamente mejorar (o al menos no comprometer en forma inapropiada) la calidad del producto, tiempo de desarrollo y costo de desarrollo.

- El DPM empieza con la fase de desarrollo del concepto y fase de diseño a nivel del sistema; en estas fases deben tomarse importantes decisiones teniendo en mente las implicaciones de costo de manufactura.
- El DPM utiliza estimaciones de costos de manufactura para guiar y dar prioridad al trabajo de reducción de costos. La estimación de costos requiere de experiencia con los procesos de producción relevantes. Proveedores y fabricantes expertos deben intervenir en este proceso.
- Como una estimación precisa de costos es muy difícil, mucha de la práctica en el DPM incluye tomar decisiones informadas en ausencia de datos detallados de costos.
- Los costos de componentes se reducen al entender qué es lo que impulsa estos costos. Entre las soluciones pueden aparecer conceptos novedosos de diseño de componentes o la mejora incremental de diseños existentes por medio de simplificación y estandarización.
- Los costos de ensamble se pueden reducir si se siguen directrices bien establecidas de diseño para ensamble (DPA). Los componentes se pueden rediseñar para simplificar operaciones de ensamble, o se pueden eliminar por completo componentes por integración de sus funciones en otros componentes.
- La reducción de costos de soporte de manufactura se inicia al entender los impulsores de complejidad en el proceso de producción. Las decisiones de diseño tienen un gran efecto en los costos de apoyo a la producción. Las selecciones deben hacerse teniendo estos efectos en mente, aun cuando las estimaciones de costos indirectos son a veces insensibles a estos cambios.
- El DPM es un método integrador que tiene lugar en todo el proceso de desarrollo y requiere entradas provenientes del equipo de desarrollo.
- Las decisiones del DPM pueden afectar al tiempo de entrega del desarrollo del producto, al costo de desarrollo del producto y a la calidad del producto. Con frecuencia serán necesarios acuerdos entre costo de manufactura y estos problemas más generales del mismo modo importantes.

Referencias y bibliografía

Existen numerosos recursos actuales en internet **www.ulrich-eppinger.net**

Dos artículos describen las necesidades, métodos y éxitos del DPM de la década de 1980.

Dean, James W., Jr., y Gerald I. Susman, “Organizing for Manufacturable Design,” *Harvard Business Review*, enero-febrero de 1989, pp. 28-36.

Whitney, Daniel E., "Manufacturing by Design," *Harvard Business Review*, julio-agosto de 1988, pp. 83-91.

Hay numerosos ejemplos documentados de éxito del DPM. Un ejemplo clásico es el caso de la ProPrinter IBM, descrita por Dewhurst y Boothroyd.

Dewhurst, Peter, y Geoffrey Boothroyd, "Design for Assembly in Action," *Assembly Engineering*, enero de 1987.

Hay una gran cantidad de referencias para auxiliar en el diseño de componentes, selección de materiales, selección de procesos de manufactura y entender capacidades de procesos. A continuación se presentan varias fuentes que ofrecen directrices específicas para cientos de aplicaciones, materiales y procesos.

Bolz, Roger W., *Production Processes: The Productivity Handbook,* quinta edición, Industrial Press, Nuev York, 1981.

Bralla, James G. (ed.), *Design for Manufacturability Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York, 1999.

Cubberly, William H. y Ramon Bakerjian, *Tool and Manufacturing Engineers Handbook,* Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, MI, 1989.

Farag, Mahmoud M., *Materials Selection for Engineering Design,* Prentice Hall, Londres, 1997.

Poli, Corrado, *Engineering Design and Design for Manufacturing: A Structured Approach,* Butterworth-Heinemann, 2001.

Trucks, H. E., *Designing for Economical Production,* segunda edición, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, MI, 1987.

Gupta *et al.*, ofrecen un repaso a los métodos de análisis de facilidad de manufactura de vanguardia, así como de investigación del DPM.

Gupta, Satyandra K, *et al.*, "Automated Manufacturability Analysis: A Survey," *Research in Engineering Design,* vol. 9, núm. 3, 1997, pp. 168-190.

El *Thomas Register* es útil para identificar proveedores de componentes, herramental, maquinaria y otros productos industriales.

Thomas Register of American Manufacturers, Thomas Publishing Company, New York, published annually. Also available on the Internet.

El método más popular para el DPA es por Boothroyd y Dewhurst. También se puede adquirir software para ayudar a estimar costos para ensamble manual y automático, así como una amplia variedad de costos de componentes.

Boothroyd, Geoffrey y Peter Dewhurst, *Product Design for Assembly,* Boothroyd Dewhurst, Inc., Wakefield, RI, 1989.

Boothroyd, Geoffrey, Peter Dewhurst y Winston A. Knight, *Product Design for Manufacture and Assembly*, segunda edición, Marcel Dekker, Nueva York, 2002.

La investigación detallada sobre ensamble automatizado ha resultado en directrices para diseñar productos apropiados para automatizar el ensamble.

Boothroyd, Geoffrey, *Assembly Automation and Product Design,* Marcel Dekker, Nueva York, 1992.

Nevins, James L. y Daniel E. Whitney, *Concurrent Design of Products and Processes,* McGraw-Hill, Nueva York, 1989.

Whitney, Daniel E., *Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development,* Oxford University Press, Nueva York, 2004.

Kaplan y otros describen el desarrollo de sistemas de costeo con base en actividad, que da ideas de impulsores de costos de una empresa y facilitan una estimación más precisa de costos.

Kaplan, Robert S. (ed.), *Measures for Manufacturing Excellence,* Harvard Business School Press, Boston, 1990.

Clark y Fujimoto realizaron un profundo estudio de desarrollo del producto en la industria mundial automotriz. Ofrece un interesante análisis y examen del concepto de diseño de componentes de caja negra.

Clark, Kim B. y Takahiro Fujimoto, *Product Development Performance: Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry,* Harvard Business School Press, Boston, 1991.

Ulrich *et al.*, describen el acuerdo entre tiempo de desarrollo y costo de manufactura. También describen un trabajo para modelar costos de apoyo en algún detalle.

Ulrich, Karl, Scott Pearson, David Sartorius y Mark Jakiela, "Including the Value of Time in Design-for-Manufacturing Decision Making," *Management Science,* vol. 39, núm. 4, abril de 1993, pp. 429-447.

Ulrich y Pearson presentan un método para estudiar productos, sus costos y algunas de las muchas decisiones de diseño de detalles que resultan en los artefactos que vemos.

Ulrich, Karl T. y Scott Pearson, "Assessing the Importance of Design through Product Archaeology," *Management Science,* vol. 44, núm. 3, marzo de 1998, pp. 352-369.

Ejercicios

1. Estime el costo de producción de un producto sencillo que pueda usted haber comprado. Trate de calcular el costo de un producto con menos de 10 componentes; por ejemplo, un disquete, una pluma, una navaja o un juguete para niños. Recuerde que un límite superior razonable para su estimación, incluyendo gastos indirectos, es el precio al mayoreo (entre 50 y 70 por ciento del precio al menudeo).

2. Sugiera algunas modificaciones potenciales para reducir costos que pudiera usted hacer para mejorar el producto del que se calculó el costo líneas antes. Calcule el índice DPA antes y después de estos cambios.

3. Haga una lista de 10 argumentos de que reducir el número de piezas en un producto podría reducir los costos de producción. También haga una lista de algunos argumentos de que se podrían aumentar costos.

Preguntas de análisis

1. Considere las siguientes 10 "reglas de diseño" para productos electromecánicos. ¿Parecen razonables estas directrices? ¿Bajo qué circunstancias podría una regla entrar en conflicto con otra? ¿Cómo podría resolverse ese acuerdo?

a) Minimizar cantidad de piezas.
b) Usar ensamble modular.
c) Acomodar ensambles en columnas.
d) Eliminar ajustes.
e) Descartar cables.
f) Usar piezas de sujeción propia.
g) Emplear piezas de colocación propia.
h) Discriminar reorientación.
i) Facilitar manejo de piezas.
j) Especificar piezas estándar.

2. ¿Es práctico diseñar un producto con 100 por ciento de eficiencia en ensamble (índice de DFA = 1.0)? ¿Qué condiciones tendrían que satisfacerse? ¿Puede usted pensar en cualesquiera productos con eficiencia de ensamble muy alta (mayor a 75 por ciento)?

3. ¿Es posible determinar lo que cuesta realmente un producto una vez que se ponga en producción? Si es así, ¿cómo podría hacerlo?

4. ¿Puede proponer un conjunto de métricas que serían útiles al equipo para predecir cambios en los costos actuales de apoyo a la producción? Para ser eficientes, estas métricas deben ser sensibles a cambios en el diseño que afecten a costos indirectos experimentados por la empresa. ¿Cuáles son algunas de las barreras para la introducción de tales técnicas en la práctica?

Apéndice A

Costo de materiales

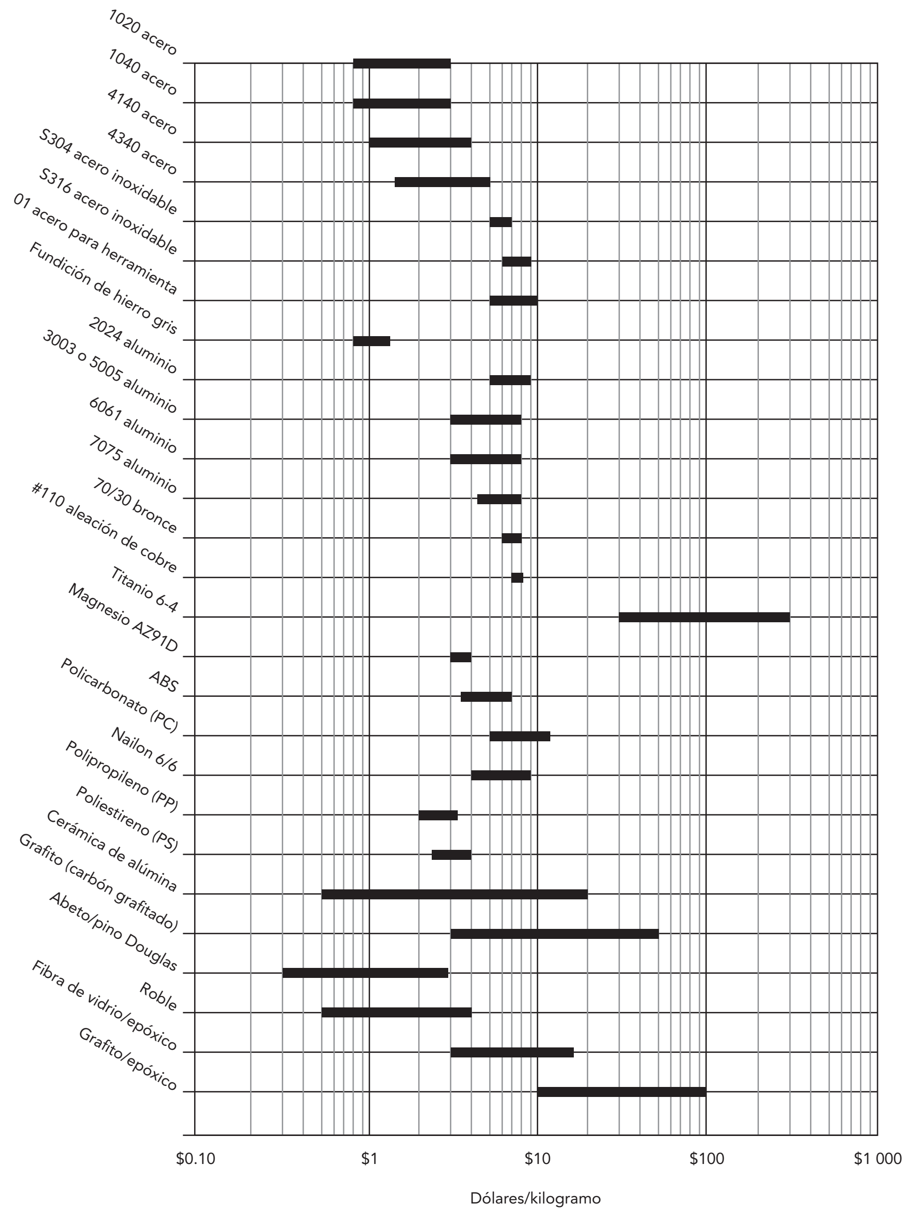


FIGURA 13-17 Márgenes de costos para materiales comunes de ingeniería. Los márgenes de precios mostrados corresponden a varios grados y formas de cada material, comprados en cantidades a granel (precios de 2007).

Fuente: Adaptado de David G. Ullman, *The Mechanical Design Process*, 3a. ed., McGraw-Hill, Nueva York, 2003.

Apéndice B

Costos de manufactura de componentes

Las figuras de este apéndice muestran ejemplos de componentes y sus datos de costo para maquinado por control numérico (CNC) (figura 13-18), moldeo por inyección (figura 13-19), estampado progresivo en frío (figura 13-20), y fundido en arena y fundido a la cera perdida (figura 13-21). El propósito de estos ejemplos es mostrar, en términos generales, lo que cuestan las operaciones típicas y la forma en que la estructura de costos es afectada por la complejidad de las piezas.

	Costos fijos	Costos variables	Volumen	Costo unitario total
a.	Preparación: 0.75 h a $60/h Herramental: programación: 0.25 h a $60/h	Material: $9 c/u materia prima: 1.11 kg de aluminio 6061 Procesamiento: 6 min/unidad a $60/h	1 10 100	$75.00 $21.00 $15.50
b.	Preparación: 1.75 h a $60/h Herramental: programación: 1.0 h a $60/h. Accesorios: $150	Material: $16 c/u materia prima: 1.96 de aluminio 6061 Procesamiento: 55 min/unidad a $60/h	1 10 100	$386.00 $102.50 $74.15
c.	Preparación: 5.5 a $60/h Herramental: programación: 2.0 h a $60/h	Material: $25 c/u 4.60 kg de polietileno de peso molecular ultraalto. Procesamiento: 2.85 h/unidad a $60/h	1 10 100	$646.00 $241.00 $200.50
d.	Preparación: 2.0 h a $60/h Herramental: programación: 2.0 h a $60/h	Material: $12 c/u materia prima: 1.50 kg de aluminio 6061 Procesamiento: 6 h/unidad a $60/h	1 10 100	$612.00 $396.00 $374.40

Fuente: Fotos de Stuart Cohen. Ejemplos y datos, cortesía de Ramco, Inc.

Notas: 1. El tiempo de programación es un gasto que se hace una vez y se incluye aquí en costos de herramental.
2. Los precios del material suponen bajos volúmenes e incluyen cargos por corte.
3. Los costos de procesamiento incluyen cargos indirectos

FIGURA 13-18 **Ejemplos de costos de maquinado por CNC**
Ejemplo de maquinado por CNC de componentes y datos de costos.

	Costos fijos	Costos variables	Volumen	Costo unitario total
a.	Preparación: Herramental: $18 000 8 cavidades/molde sin acciones	Material: $0.075 c/u 45 g de polietileno lineal de baja densidad Procesamiento: 1 000 piezas/h en prensa de 1 800 KN a $40/h	10K 100K 1M	$1.915 $0.295 $0.133
b.	Preparación: Herramental: $10 000 1 cavidad/molde sin acciones	Material: $0.244 c/u 10 g de policarbonato lleno de acero Procesamiento: 160 piezas/h en prensa de 900 KN a $42/h	10K 100K 1M	$1.507 $0.607 $0.517
c.	Preparación: Herramental: $18 000 2 cavidades/molde sin acciones 3 pernos retractores	Material: $0.15 c/u 22 g de óxido modificado de polifenileno Procesamiento: 240 piezas/h en prensa de 800 KN a $42/h	10K 100K 1M	$2.125 $0.505 $0.343
d.	Preparación: Herramental: $80 000 1 cavidad/molde 1 acción 4 pernos retractores	Material: $2.58 c/u 227 g de policarbonato con 8 insertos de bronce Procesamiento: 95 piezas/h en prensa de 2 700 KN a $48/h	10K 100K 1M	$11.085 $3.885 $3.165

Fuente: Fotos de Stuart Cohen. Ejemplos y datos, cortesía de Lee Plastics, Inc., y Digital Equipment Corporation

Notas: 1. Los costos de preparación (sólo unas pocas horas en cada caso) son insignificantes para moldeo por inyección en volumen alto.
2. Los costos de procesamiento incluyen cargos indirectos.

FIGURA 13-19 **Ejemplos de costos de moldeo por inyección**
Datos de componentes y costos del ejemplo de moldeo por inyección.

Terminología

La terminología siguiente se aplica a todas las tablas de este apéndice:

- La ***preparación*** es el trabajo requerido para preparar el equipo para un lote de producción. Los costos de preparación se cobran por cada lote.
- Los ***costos de herramental*** se generan antes del primer lote de producción y el herramental por lo general puede reutilizarse para posteriores lotes de producción. No obstante, en

	Costos fijos	Costos variables	Volumen	Costo unitario total
a.	Preparación:	Material: $0.040 c/u 2.2 g 70/30 latón	100K 1M 10M	$0.281 $0.083 $0.063
	Herramental: $22K	Procesamiento: 3 000 piezas/h en prensa de 550 KN a $63/h		
b.	Preparación:	Material: $0.032 c/u 3.5 g 304 SST	100K 1M 10M	$0.775 $0.136 $0.072
	Herramental: $71K	Procesamiento: 4 300 piezas/h en prensa de 550 KN a $140/h		
c.	Preparación:	Material: $0.128 c/u 19.2 g de cobre 102	100K 1M 10M	$0.248 $0.149 $0.140
	Herramental: $11K	Procesamiento: 4 800 piezas/h en prensa de 650 KN a $50/h		
d.	Preparación:	Material: $0.28 c/u 341 g de acero galvanizado	100K 1M 10M	$2.516 $0.761 $0.585
	Herramental: $195K	Procesamiento: 700 piezas/h en prensa de 1 000 KN a $200/h		

Fuente: Fotos de Stuart Cohen. Ejemplos y datos cortesía de Brainin Advance Industries y otras fuentes.

Notas:
1. Los costos de preparación (sólo unas pocas horas en cada caso) son insignificantes para troquelado en alto volumen.
2. Los pesos del material representan troquelados terminados. Los costos del material incluyen chatarra.
3. Los costos de procesamiento por hora no sólo son impulsados por el tamaño de la prensa, sino que también incluyen equipo auxiliar de procesamiento como golpes ligeros en dado.
4. Los costos de procesamiento incluyen cargos indirectos.

FIGURA 13-20 Ejemplos de costos de troquelado
Datos de componentes y costo de troquelado a volumen progresivo.

lotes de producción de volumen muy alto, el herramental se desgasta y por lo tanto es un gasto recurrente. Los costos de herramental pueden extenderse en todo el volumen de producción o pueden cobrarse por separado. El tiempo de programación del equipo de CNC es generalmente también un gasto de una vez, como un costo de herramental.

- Los ***tipos de material*** se indican para cada pieza. Los pesos y costos de material incluyen procesar chatarra y desperdicio.

	Costos fijos	Costos variables	Volumen	Costo unitario total
a.	Preparación:	Material: $0.53 c/u 570 g de hierro fundido gris	10 100 1 000	$180.91 $18.91 $2.71
	Herramental: $1 800 8 impresiones/molde sin corazón	Procesamiento: 120 piezas/h a $46/h		
b.	Preparación:	Material: $2.42 c/u 2 600 g de hierro fundido gris	10 100 1 000	$243.95 $27.95 $6.35
	Herramental: $2 400 2 impresiones/molde 1 corazón	Procesamiento: 30 piezas/h a $46/h		

	Costos fijos	Costos variables	Volumen	Costo unitario total
c.	Preparación:	Material: $0.713 c/u 260 g de bronce amarillo	10 100 1 000	$163.21 $28.21 $14.71
	Herramental: $1 500 sin corazones	Procesamiento: 4 piezas/h a $50/h		
d.	Preparación:	Material: $0.395 c/u 180 g de aluminio 712	10 100 1 000	$750.40 $120.40 $57.40
	Herramental: $7K 3 corazones	Procesamiento: 1 pieza/h a $50/h		

Fuente: Fotos de Stuart Cohen. Ejemplos y datos, cortesía de Cumberland Foundry Co., Inc. (moldeo en arena), y Castronics, Inc. (moldeo a cera perdida)

Notas: 1. Generalmente la preparación no se cobra en costos.
2. Los costos de procesamiento incluyen cargos indirectos.

FIGURA 13-21 **Ejemplos de costo de fundiciones**
Datos de componentes y costo de moldeo en arena (arriba) y en cera perdida (abajo).

- Los ***costos de procesamiento*** varían con el tipo de equipo de manufactura que se usa e incluyen cargos por tiempo de maquinado y mano de obra.

Si bien los costos fijos (preparación y herramental) se cobran a veces por separado del material y costos de procesamiento, para estos ejemplos, los costos fijos se extienden en el volumen de producción que se muestra. Los costos unitarios se calculan como:

$$\text{Costo unitario total} = \frac{\text{Costos de preparación} + \text{costos de herramental}}{\text{Volumen}} + \text{Costos variables}$$

Las tasas de costos dadas incluyen cargos indirectos, de manera que estos datos son representativos de componentes especiales comprados de proveedores.

Descripción de procesos

El maquinado mediante CNC incluye procesos de fresado y torneado en máquinas controladas por computadora. Las máquinas de control numérico son muy flexibles debido a mecanismos automáticos de cambio de herramienta, ejes múltiples de trabajo y control programable por computadora. Para producir una pieza en particular, un mecánico debe primero programar las trayectorias de la herramienta de corte y las selecciones de herramienta en la computadora de la máquina. Del mismo modo, los accesorios y otras herramientas pueden utilizarse para producir múltiples piezas con más eficiencia. Una vez que el programa se escriba y se hagan los accesorios, los lotes subsiguientes de producción se pueden ajustar mucho más rápidamente.

El moldeo por inyección es el proceso de forzar plástico caliente a alta presión en un molde, donde se enfría y solidifica. Cuando la pieza esté bastante fría, se abre el molde, la pieza se expulsa, se cierra el molde y el ciclo se inicia otra vez. La complejidad del molde depende en gran medida de la geometría de la pieza; los ángulos de salida (formas que evitan que la pieza sea expulsada del molde) se logran usando “acciones” o “pernos de retracción” del molde.

El estampado progresivo con matriz es el proceso de pasar una lámina o tira de metal por un conjunto de dados para cortarla y/o formarla a un tamaño y forma deseados. Si bien algunos estampados requieren sólo de corte, los formados se hacen al doblar y estirar el material en más de su límite de elasticidad, con lo cual se ocasiona una deformación permanente.

El moldeo en arena se hace formando un molde de arena de un molde patrón (labrando la forma de la pieza final). Aglutinantes especiales se mezclan con la arena para que la arena retenga su forma cuando se apisona alrededor del molde para crear un molde de un solo uso. Las cavidades internas en una pieza fundida se pueden hacer con corazones de arena adicionales que se colocan dentro del molde exterior. El metal fundido se vacía entonces en el molde donde el metal se enfría y solidifica. Una vez frío, se rompe el molde para dejar al descubierto la pieza fundida. Las piezas fundidas por lo general requieren operaciones de maquinado para crear componentes terminados.

Las piezas fundidas a la cera perdida se hacen primero creando un molde provisional de cera, usando un molde maestro. El molde de cera se introduce o sumerge en pasta cerámica que se deja solidificar. La forma se calienta entonces, fundiendo la cera y dejando tras de sí únicamente la delgada capa como molde. El metal fundido se vierte entonces en el molde, donde se enfría y solidifica. Cuando el metal se enfría, se rompe el molde para dejar al descubierto la pieza de metal.

Las descripciones detalladas del proceso para éstos y otros numerosos procesos, así como técnicas más detalladas de estimación de costos, se pueden hallar en los libros de consulta para este capítulo.

Apéndice C

Costos de ensamble

Producto	Datos de la pieza		Tiempos de ensamble (segundos)	
	Núm. de piezas	16	Total	125.7
	Núm. de piezas únicas	12	Pieza más lenta	9.7
	Núm. de sujetadoras	0	Pieza más rápida	2.9
	Núm. de piezas	34	Total	186.5
	Núm. de piezas únicas	25	Pieza más lenta	10.7
	Núm. de sujetadoras	5	Pieza más rápida	2.6
	Núm. de piezas	49	Total	266.0
	Núm. de piezas únicas	43	Pieza más lenta	14.0
	Núm. de sujetadoras	5	Pieza más rápida	3.5
	Núm. de piezas	56/17*	Total	277.0/138.0*
	Núm. de piezas únicas	44/12*	Pieza más lenta	8.0/8.0*
	Núm. de sujetadoras	0/0*	Pieza más rápida	0.75/3.0*

Fuente: Fotos de Stuart Cohen. Datos obtenidos usando software DFA de Boothroyd Dewhurst Inc.

* Los datos para el ratón se dan como: total de componentes (incluyendo electrónicos)/ sólo componentes mecánicos.

Notas: 1. Esta tabla da tiempos de ensamble manual, que se pueden convertir en costos de ensamble usando tasas de mano de obra aplicables.

2. Los tiempos de ensamble mostrados incluyen tiempos para manejo e inserción de piezas individuales, así como otras operaciones; por ejemplo, manejo e inserción de un subconjunto, reorientación y remachado en caliente.

FIGURA 13-22 **Costos de ensamble**

Datos de ensamble para productos comunes. Obtenidos usando software DFA de Boothroyd Dewhurst Inc.

Componente	Tiempo (segundos)			Componente	Tiempo (segundos)		
	Mín	*Máx*	*Prom*		*Mín*	*Máx*	*Prom*
Tornillo	7.5	13.1	10.3	Perno	3.1	10.1	6.6
Ajuste rápido	3.5	8.0	5.9	Resorte	2.6	14.0	8.3

Fuente: Tablas de ensamble manual en Boothroyd and Dewhurst, 1989

FIGURA 13-23 Tiempos típicos de manejo e inserción para componentes comunes.

Apéndice D

Estructuras de costos

Tipo de empresa	Cálculo de costos
Fabricante de productos electromecánicos (Estructura tradicional de costos)	Costo = (113%) × (Costo de materiales) + (360%) × (Costo de mano de obra directa)
Fabricante de válvulas de precisión (Estructura de costos con base en actividad)	Costo = (108%) × [(Costo de mano de obra directa) + (Costo de mano de obra en preparación) + (160%) × (Costo de materiales) + ($27.80) × (Horas de máquina) + ($2 000.00) × (Número de embarques)]
Fabricante de componentes de equipo pesado (Estructura de costos con base en actividad)	Costo = (110%) × (Costo de materiales) + (109%) × [(211%) × (Costo de mano de obra directa) + ($16.71) × (Horas de máquina) + ($33.76) × (Costo de horas en preparación) + ($114.27) × (Número de órdenes de producción) + ($19.42) × (Número de cargas de manejo de material) + ($487.00) × (Número de piezas nuevas agregadas al sistema)]

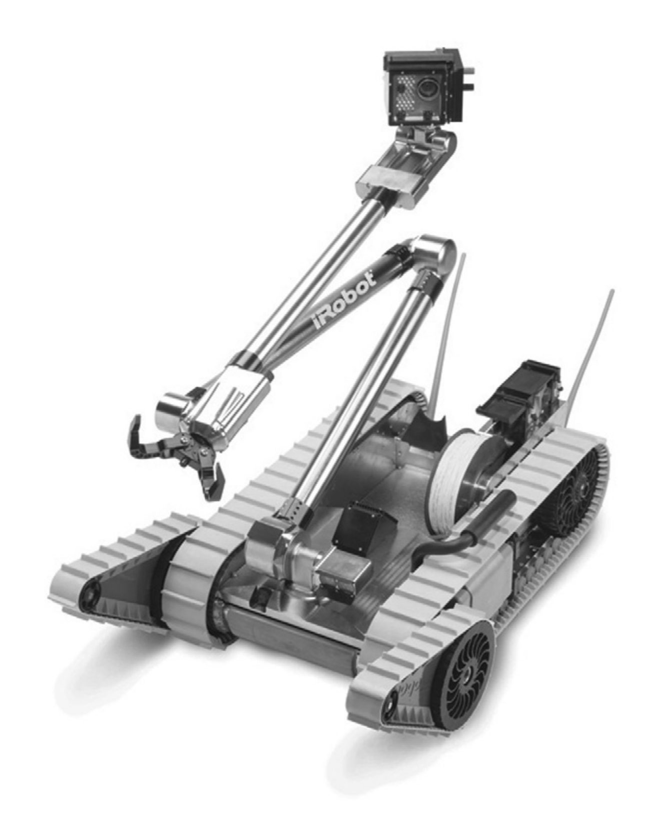
Fuente: De arriba abajo: Fuente de empresa no publicada; casos de la Escuela de Administración de Harvard: Destin Brass Products Co., 9-190-089, y John Deere Component Works, 9-187-107.

Notas: 1. Esta tabla muestra costos totales por pedido de cliente.
2. Los costos de materiales incluyen costos de materias primas y componentes comprados.

FIGURA 13-24 Estructura de costos típica de empresas manufactureras.

CAPÍTULO CATORCE

Construcción de prototipos



Cortesía de iRobot Corp.

FIGURA 14-1 Robot móvil PackBot construido por iRobot.



Cortesía de iRobot Corp.

FIGURA 14-2 El PackBot listo para emplearse en una operación militar de búsqueda.

La línea de robots tácticos móviles PackBot de iRobot fue diseñada por iRobot Corporation para ayudar en la aplicación de la ley y al personal militar, a ejecutar operaciones en entornos peligrosos. Por ejemplo, los robots PackBot se emplearon para ayudar en la búsqueda de sobrevivientes en los escombros del World Trade Center en septiembre de 2001. Han colaborado en operaciones militares en todo el mundo y la policía los emplea para recuperar y desactivar bombas. El chasis móvil del PackBot acepta una amplia variedad de cargas útiles, incluyendo un brazo robótico que puede equiparse con mordazas, cámaras de video, iluminación, sensores acústicos, detectores químicos y de radiación, o un equipo especializado que es necesario para desactivar bombas. La figura 14-1 muestra el PackBot configurado con un brazo robótico, cámara, mordazas y cable de fibra óptica para comunicaciones. La figura 14-2 muestra el PackBot listo para usarse en el campo.

El PackBot puede ser llevado por personal militar, ser lanzado por una ventana o dejarlo caer desde un camión de bomberos en gran cantidad de situaciones impredecibles y difíciles. Al desarrollar el PackBot, el equipo de desarrollo del producto en iRobot utilizó varias formas de prototipos en todo el proceso de desarrollo del producto. Los prototipos no sólo ayudaron a desarrollar rápidamente un producto exitoso, sino también a asegurar la confiabilidad del PackBot en el campo.

Este capítulo define al *prototipo*, explica por qué se construyen prototipos y luego presenta varios principios de práctica de construcción de prototipos. El capítulo también describe un método para planear prototipos antes de construirlos. El PackBot se usa como ejemplo ilustrativo en todo el capítulo.

Para entender un prototipo

Aun cuando los diccionarios definen *prototipo* sólo como sustantivo, en la práctica de desarrollo de productos la palabra se usa como sustantivo, verbo y adjetivo (de manera particular en la versión inglesa de este texto). Por ejemplo:

- Los diseñadores industriales producen *prototipos* de sus conceptos.
- Los ingenieros *construyen prototipos* de un diseño.
- Los creadores de software escriben programas *prototipo*.

Definimos *prototipo* como “una aproximación al producto en una o más dimensiones de interés”. Con esta definición, cualquier entidad que exhiba al menos un aspecto del producto que es de interés para el equipo de desarrollo puede considerarse como un prototipo. Esta definición se desvía del uso estándar en que incluye formas tan diversas de prototipos; por ejemplo, bosquejos de conceptos, modelos matemáticos, simulaciones, componentes de prueba y versiones completamente funcionales previas a la producción de un producto. *Construir prototipos* es el proceso de desarrollar esa aproximación al producto.

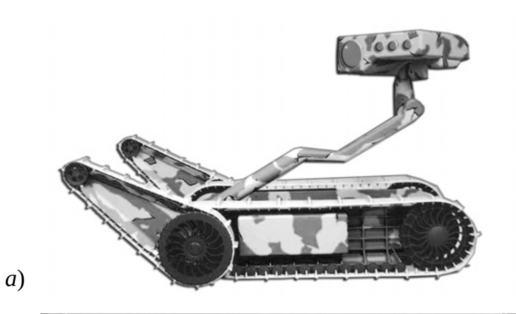
Tipos de prototipos

Los prototipos pueden clasificarse de manera útil en dos dimensiones. La primera es el grado al cual el prototipo es *físico* en oposición a *analítico*. Los prototipos físicos son objetos tangibles semejantes al producto. Los aspectos de interés del producto para el equipo de desarrollo están construidos en un artefacto para prueba y experimentación. Ejemplos de prototipos físicos incluyen modelos que se ven y se sienten como el producto, prototipos de prueba de concepto empleados para probar rápidamente una idea y hardware experimental usado para validar la funcionalidad de un producto. La figura 14-3 muestra tres formas de prototipos físicos que se usan para diversos fines. Los prototipos analíticos representan el producto en una forma no tangible, en general matemática o visual. Los aspectos interesantes del producto se analizan, más que construirse. Ejemplos de prototipos analíticos incluyen simulaciones por computadora, sistemas de ecuaciones codificados en una hoja de cálculo y modelos computarizados en tres dimensiones de la geometría. La figura 14-4 muestra tres formas de prototipos analíticos empleados para propósitos diversos.

La segunda dimensión es el grado al cual el prototipo es *integral* en oposición a *enfocado*. Los prototipos integrales ejecutan la mayor parte de los atributos de un producto (si no es que todos). Un prototipo integral corresponde cercanamente al uso diario de la palabra *prototipo*, en que es una versión a plena escala y por completo operacional del producto. Un ejemplo de un prototipo integral es el que se proporciona a clientes para identificar cualquiera de las fallas restantes de diseño antes de entrar en producción. En contraste, los prototipos enfocados realizan uno, o pocos, de los atributos de un producto. Ejemplos de prototipos enfocados incluyen modelos de espuma para explorar la forma de un producto y tarjetas de circuitos hechas a mano para investigar el funcionamiento electrónico del diseño de un producto. Una práctica común es usar dos o más prototipos enfocados juntos para investigar el funcionamiento general de un producto. Uno de estos prototipos es con frecuencia un prototipo “se ve como”, y el otro es un prototipo “funciona como”. Al construir dos prototipos enfocados separados, el equipo puede responder sus preguntas mucho antes de que tenga que crear un prototipo integrado.

La figura 14-5 muestra una gráfica con ejes correspondientes a estas dos dimensiones. Varios prototipos del ejemplo del PackBot se muestran en esta gráfica. Nótese que los prototipos enfocados pueden ser físicos o analíticos, pero para productos manufacturados tangibles,

a)



b)



c)



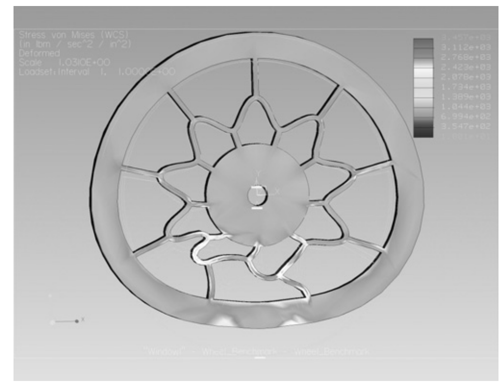
Cortesía de iRobot Corp.

FIGURA 14-3 Ejemplos de prototipos físicos del proyecto PackBot. *a*) Modelo “se ve como” para comunicación y aprobación del cliente, *b*) prototipo de rueda bajo carga durante prueba de movimiento lento, *c*) prueba de arena de todo el sistema.

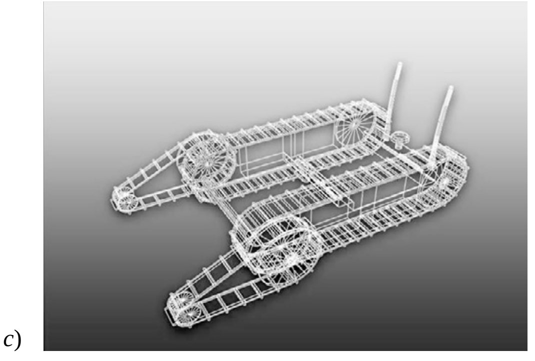
en general los prototipos totalmente integrales deben ser físicos. Los prototipos a veces contienen una combinación de elementos analíticos y físicos. Por ejemplo, el equipo de control que incluye interfase del usuario para el PackBot podría estar enlazado a una simulación de software del movimiento dinámico del PackBot. Algunos prototipos analíticos pueden verse como más "físicos" que otros. Por ejemplo, una animación de video del equilibrio dinámico del PackBot basada en simulación de las interacciones físicas de sus componentes es, en un sentido, más física que un conjunto de ecuaciones que aproximan el equilibrio total del mismo mecanismo.



a)



b)



c)

Cortesía de iRobot Corp.

FIGURA 14-4 Ejemplos de prototipos analíticos del PackBot. *a*) ilustración en CAD 3D creada para una propuesta del cliente, *b*) análisis de elemento finito de geometría de rayo de rueda, *c*) modelo de simulación dinámica.

¿Para qué se usan prototipos?

En el proyecto de desarrollo de un producto, los propósitos de usar prototipos son cuatro: aprendizaje, comunicación, integración y alcance de hitos.

Aprendizaje Con frecuencia se usan prototipos para responder dos tipos de preguntas: "¿funcionará?", y "¿qué tan bien satisface las necesidades del cliente?" Cuando se usan para contestar esas preguntas, los prototipos sirven como herramientas de aprendizaje. Al desarrollar las ruedas para el PackBot, el equipo construyó prototipos enfocados-físicos de la novedosa geometría de rayos en espiral de las ruedas. Éstas fueron montadas en una plataforma con peso y se dejaron caer desde varias alturas para probar las propiedades de absorción de choque y la resistencia de las ruedas. La figura 14-6 muestra varios de los prototipos de ruedas y una de las pruebas de impacto. También en el desarrollo del diseño de las ruedas, se analizaron modelos matemáticos de los rayos para estimar la rigidez y resistencia de las ruedas. Éste es un ejemplo de un prototipo enfocado-analítico empleado como herramienta de aprendizaje.

Comunicación Los prototipos mejoran la comunicación entre la alta administración, vendedores, socios, miembros adicionales del equipo, clientes e inversionistas. Esto es particularmente cierto en prototipos físicos: una representación visual, tangible y tridimensional de un producto es mucho más fácil de entender que una descripción verbal o incluso que un bosquejo del producto. Cuando se desarrollan nuevas opciones de carga útil para el PackBot, la comunicación entre ingenieros, gerentes, proveedores y clientes mejora por medio de prototipos "se ve y se siente". Los nuevos clientes a veces no aprecian el tamaño pequeño de la "zona de trituración" en que la carga útil del PackBot debe caber, pero un modelo físico ilustra con claridad esta limitación de espa-

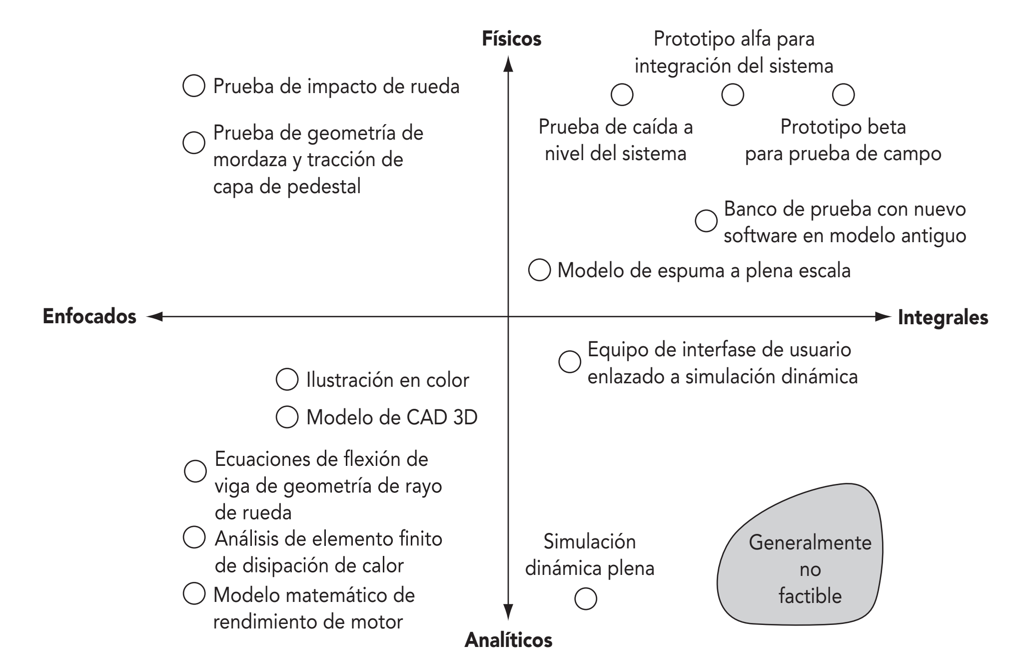
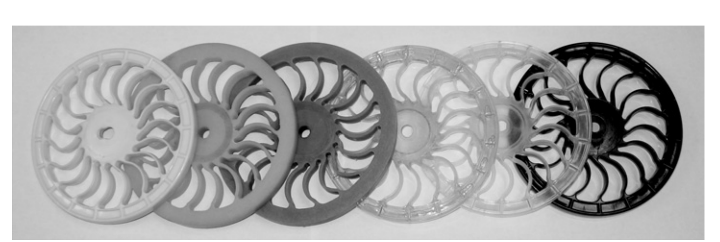


FIGURA 14-5 Tipos de prototipos. Los prototipos se pueden clasificar de acuerdo con el grado al que son físicos y al grado en el que ejecutan todos los atributos del producto.

cio. El prototipo físico aproximado que se ve en la figura 14-3*a*) se empleó para comunicar a los primeros clientes el tamaño físico del PackBot y el alcance de movilidad del brazo que soporta la cámara. Este modelo se construyó con componentes usando tecnología de construcción rápida de prototipos por medio de estereolitografía, ensamblado y pintado para representar el tamaño y aspecto reales del producto.

Integración Se usan prototipos para asegurar que los componentes y subsistemas del producto funcionen juntos como se espera. Los prototipos físicos integrales son más eficaces





Cortesía de iRobot Corp.

FIGURA 14-6 Prototipos de rueda del PackBot (izquierda) y prueba de impacto (derecha).





Cortesía de iRobot Corp.

FIGURA 14-7 Prototipos alfa (arriba) y beta (abajo) del PackBot.

como herramientas de integración en proyectos de desarrollo de un producto, porque requieren del ensamble e interconexión física de todas las piezas y subconjuntos que conforman el producto. Al hacerlo así, el prototipo obliga a la coordinación entre diferentes miembros del equipo de desarrollo del producto. Si la combinación de cualquiera de los componentes del producto interfiere con la función general del producto, el problema puede detectarse a través de la integración física en un prototipo integral. Los nombres comunes para estos prototipos físicos integrales son prototipo de *banco de pruebas, alfa, beta* o *prototipo de preproducción*. Dos de estos prototipos del PackBot se ven en la figura 14-7. En el prototipo alfa, los radios son visibles en el centro del robot; en el prototipo beta, los radios se integraron en el cuerpo para protección contra daños. Extensas pruebas del prototipo alfa ayudaron a identificar varias mejoras al sistema de la oruga, que fue rediseñada antes de construir el prototipo beta. Otras pruebas del prototipo beta incluyeron una amplia gama de condiciones de campo, por ejemplo en lodo, arena y agua.

Los prototipos también ayudan a integrar las perspectivas de las diferentes funciones de un producto representadas por el equipo de desarrollo (Leonard-Barton, 1991). Un modelo físico sencillo de la forma de un producto se puede usar como medio para ponerse de acuerdo sobre las funciones de mercadotecnia, diseño y manufactura en una decisión de diseño básico.

En numerosos procesos de desarrollo de software se emplean prototipos para integrar las actividades de docenas de creadores de software. Microsoft, por ejemplo, emplea una “construcción diaria” con la que se integra una nueva versión del producto al final de cada día. Los inventores de software “introducen” su código después de una hora fija (por ejemplo las 5:00 p.m.) y un equipo compila esos códigos para crear una nueva versión prototipo del software. La versión más reciente del software se prueba y emplea entonces por cada uno de los miembros del equipo, en una práctica que Microsoft llama “comer su propia comida de perro”. Esta práctica de crear prototipos integrales diarios asegura que el trabajo de los creadores sea siempre sincronizado e integrado. Cualesquier conflictos se detectan de inmediato y el equipo nunca puede apartarse más de un día de una versión funcional del producto (Cusumano, 1997).

Hitos Particularmente en las últimas etapas del desarrollo de un producto se usan prototipos para demostrar que el producto ha alcanzado un nivel deseado de funcionalidad. Los prototipos que son un hito proporcionan metas tangibles, demuestran progreso y sirven para cumplir el calendario. La alta administración de la empresa (y en ocasiones el cliente) requiere a veces un prototipo que demuestre ciertas funciones antes de permitir que el proyecto siga adelante. Por ejemplo, en muchas adquisiciones del gobierno, un prototipo debe pasar una “prueba de llenar los requisitos” y después una “prueba de primer artículo” antes que un contratista pueda emprender la producción. Un hito importante para el desarrollo del PackBot fue una prueba realizada por el ejército de Estados Unidos. Durante esta prueba, el prototipo del PackBot se lanzaba desde un vehículo en movimiento y lo controlaba un soldado con mínima capacitación en un ambiente desconocido. Para pasar esta prueba no podía haber fallas en el sistema del PackBot y en su interfase de usuario.

Si bien todos los tipos de prototipos se usan para estos cuatro propósitos, algunos son más apropiados que otros. En la figura 14-8 se presenta un resumen de la aplicabilidad de diferentes tipos de prototipos para distintos fines.

Principios de construcción de prototipos

Varios principios son útiles para guiar decisiones acerca de prototipos durante el desarrollo del producto. Estos principios informan sobre decisiones acerca de qué tipo de prototipo construir y cómo incorporar prototipos en el plan del proyecto de desarrollo.

Los prototipos analíticos son generalmente más flexibles que los prototipos físicos

Debido a que un prototipo analítico es una aproximación matemática del producto, en general contiene parámetros que pueden variar para representar un intervalo de alternativas de diseño. En la mayor parte de los casos, cambiar un parámetro por un prototipo analítico es más fácil que cambiar un atributo por un prototipo físico. Por ejemplo, considere un prototipo analítico del tren de transmisión del PackBot que incluye un conjunto de ecuaciones que representan el motor eléctrico. Uno de los parámetros del modelo matemático del motor es la torsión de parada. Hacer variar este parámetro y luego resolver las ecuaciones es mucho más fácil que cambiar un motor real por un prototipo físico. En casi todos los casos, el prototipo analítico no sólo es más fácil de cambiar que un prototipo físico, sino que también permite cambios más grandes que los que podrían hacerse en un prototipo físico. Por esta razón un prototipo analítico precede con frecuencia a un prototipo físico. El prototipo analítico se usa para reducir el intervalo de parámetros factibles y luego el prototipo físico se emplea para afinar o confirmar el diseño. Vea en el capítulo 15, Diseño robusto, un ejemplo detallado del uso de un prototipo analítico para explorar varios parámetros de diseño.

Los prototipos físicos son necesarios para detectar fenómenos no anticipados

Un prototipo físico a veces exhibe fenómenos imprevistos que no están relacionados por completo con el objetivo original del prototipo. Una razón para estas sorpresas es que todas las leyes de la física están operando cuando el equipo experimenta con prototipos físicos. Los prototipos físicos destinados a investigar problemas sólo geométricos también tendrán propiedades térmicas y ópticas. Algunas de las cualidades inesperadas de prototipos físicos son irrelevantes

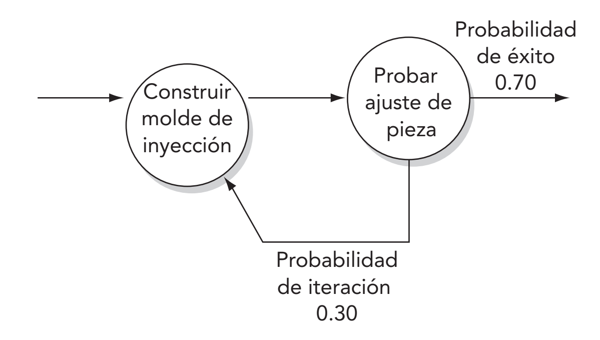
	Aprendizaje	Comunicación	Integración	Hitos
Analítico enfocado	●	○	○	○
Físico enfocado	●	●	○	○
Físico integral	●	●	●	●

FIGURA 14-8 Aplicabilidad de tipos diferentes de prototipos para distintos propósitos (● = más apropiado, ○ = menos apropiado). Nótese que los prototipos analíticos totalmente integrales raras veces son posibles para productos físicos.

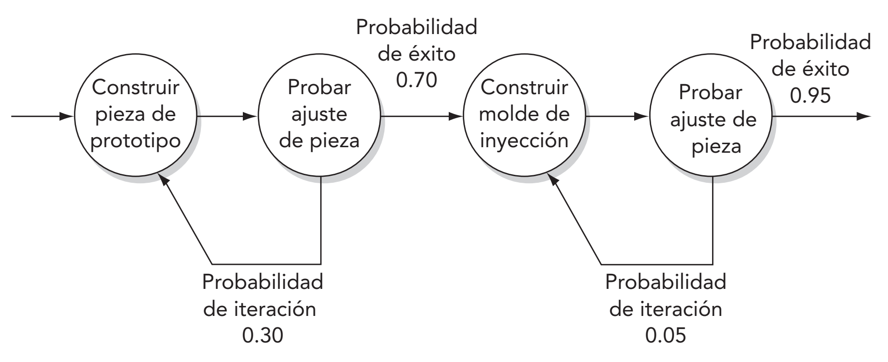
para el producto final y molestas durante la prueba. No obstante, algunas de éstas también se presentarán en el producto final. En estos casos, un prototipo físico puede servir como herramienta para detectar fenómenos perjudiciales inadvertidos que pueden aparecer en el producto final. Por ejemplo, en una prueba de tracción de varias capas de dedos de mordaza del PackBot, el equipo descubrió que algunas de las capas con buenas características de agarre tenían poca durabilidad. Los prototipos analíticos, en contraste, nunca desvelan fenómenos que no son parte del modelo analítico fundamental en el que se basa el prototipo. Por esta razón, casi siempre se construye al menos un prototipo físico en un trabajo de desarrollo de un producto.

Un prototipo puede reducir el riesgo de costosas iteraciones

La figura 14-9 ilustra el riesgo y la iteración en el desarrollo de un producto. En muchas situaciones, el resultado de una prueba puede determinar si un trabajo de desarrollo tendrá que repetirse. Por ejemplo, si una pieza moldeada se ajusta mal con sus piezas de acoplamiento, habrá que reconstruir el herramental del molde. En la figura 14-9, un riesgo de 30 por ciento de regresar a la actividad de construir el molde, después de probar el ajuste de la pieza, se representa con una flecha marcada con una probabilidad de 0.30. Si construir y probar un proto-



Proceso convencional



Proceso con construcción de prototipo

FIGURA 14-9 Un prototipo puede reducir el riesgo de una costosa iteración. Construir y probar un prototipo permite al equipo de desarrollo detectar un problema que de otro modo no hubiera sido detectado, sino hasta después de una costosa actividad de desarrollo, por ejemplo construir un molde de inyección.

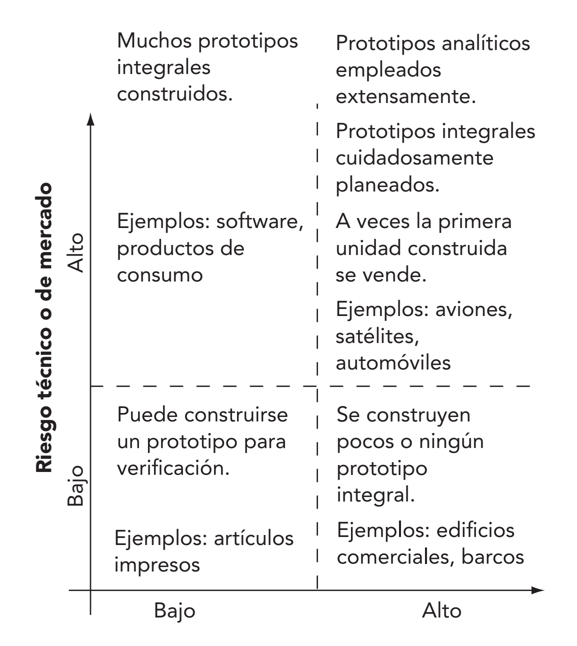


FIGURA 14-10 El uso de prototipos integrales depende del nivel relativo de riesgo técnico o de mercado y del costo de construir un prototipo integral.

tipo aumenta de manera considerable la probabilidad de que las actividades subsiguientes continúen sin iteración (por ejemplo, de 70 a 95 por ciento, como se indica en la figura 14-9), la fase del prototipo puede justificarse.

Las ventajas anticipadas de un prototipo al reducir el riesgo deben ponderarse respecto al tiempo y dinero necesarios para construir y evaluar el prototipo. Esto es particularmente importante para prototipos integrales. Los productos de alto riesgo o con incertidumbre por los altos costos de falla, nueva tecnología o la naturaleza revolucionaria del producto, se beneficiarán de estos prototipos. Por el contrario, los productos en que los costos de falla sean bajos y la tecnología sea bien conocida no tienen grandes ventajas por reducción de riesgo si se construyen prototipos. Casi todos los productos caen en alguno de estos extremos. La figura 14-10 representa el intervalo de situaciones que pueden hallarse en tipos diferentes de proyectos de desarrollo.

Un prototipo puede agilizar otros pasos de desarrollo

A veces la adición de una fase corta de construcción de prototipos puede permitir completar una actividad subsiguiente con más rapidez que si no se construyera el prototipo. Si el tiempo adicional necesario para la fase del prototipo es menor que los ahorros en duración de la actividad subsiguiente, entonces esta estrategia es apropiada. Uno de los casos más comunes de esta situación es el diseño de moldes, como se ilustra en la figura 14-11. La existencia de un modelo físico de una

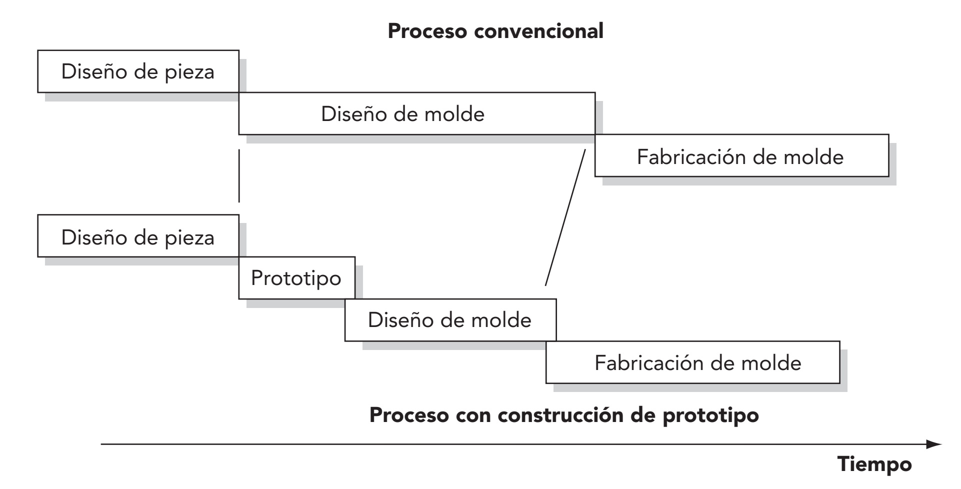


FIGURA 14-11 Un prototipo al facilitar otro paso. Construir un prototipo puede hacer posible terminar más rápido un paso subsiguiente.

pieza geométricamente compleja permite al diseñador del molde visualizar y diseñar con más rapidez el herramental del molde.

Un prototipo puede reestructurar dependencias de tareas

La parte superior de la figura 14-12 ilustra un conjunto de tareas que se completan de manera secuencial. Se completarían algunas de las tareas de manera concurrente si se construye un prototipo. Por ejemplo, una prueba de software puede depender de la existencia de un circuito físico. En lugar de esperar la versión de producción de la tarjeta de circuito impreso para usar en la prueba, el equipo puede fabricar rápidamente un prototipo (es decir, una tarjeta hecha a mano) y usarla para la prueba mientras continúa la producción de la tarjeta de circuito impreso.

Tecnologías de construcción de prototipos

Se emplean cientos de tecnologías de producción diferentes para crear prototipos, en particular prototipos físicos. Han aparecido dos tecnologías particularmente importantes en los últimos 20 años: modelado por computadora en tercera dimensión (CAD 3D) y fabricación de forma libre.

Modelado y análisis en CAD 3D

Desde la década de 1990, el modo dominante de representar diseños ha cambiado considerablemente de dibujos, a veces creados en computadora, a *modelos de diseño asistido por computadora en tres dimensiones*, conocidos como modelos CAD 3D que representan diseños como conjuntos de entidades sólidas en tres dimensiones, cada una por lo general construida con figuras geométricas como cilindros, bloques y orificios.

Las ventajas del modelado CAD 3D incluyen la aptitud de visualizar fácilmente la forma del diseño en tres dimensiones; la capacidad de crear imágenes realistas en foto para evaluación del aspecto del producto; la habilidad de calcular en forma automática propiedades físi-

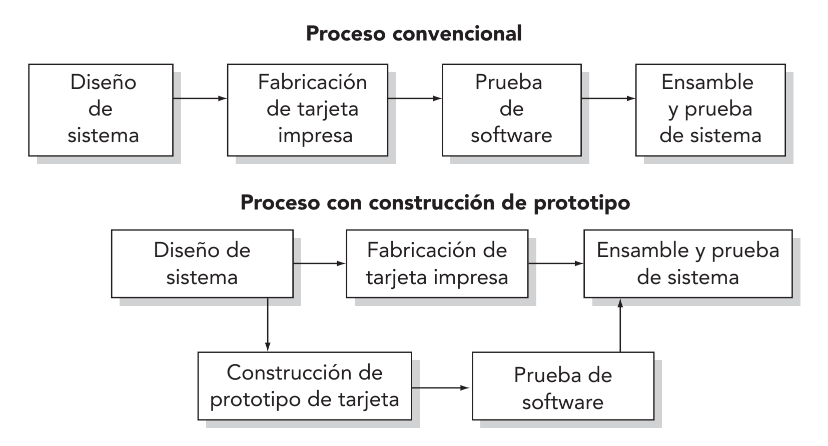


FIGURA 14-12 Uso de un prototipo para eliminar un trabajo de la trayectoria crítica.

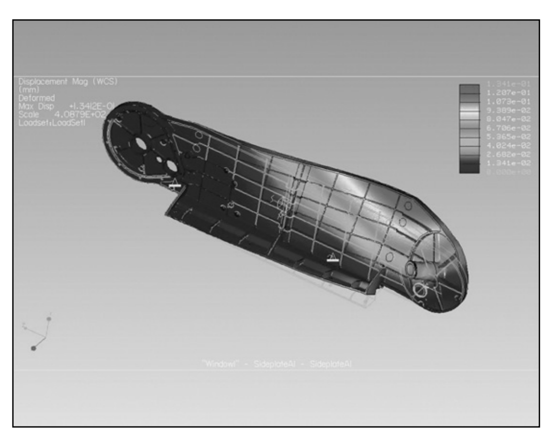
cas como son masa y volumen, y la eficiencia que resulta de la creación de una sola descripción justa del diseño, de la cual puedan crearse otras descripciones más enfocadas como son las vistas en sección transversal y dibujos para fabricación. Por medio de herramientas de *ingeniería asistida por computadora* (CAE, *computer-aided engineering*), los modelos CAD 3D han empezado a servir como prototipos analíticos. En algunas situaciones esto puede eliminar uno o más prototipos físicos. Cuando se usan modelos CAD 3D para planear con todo cuidado el ensamble final e integrado del producto y para detectar interferencia geométrica entre piezas, se puede eliminar la necesidad de un prototipo a plena escala. Por ejemplo, en el desarrollo de los aviones a reacción Boeing 777 y 787, los equipos de desarrollo pudieron evitar la construcción de modelos prototipos de madera a escala natural de los aviones, que históricamente se habían usado para detectar interferencias geométricas entre elementos estructurales y los componentes de otros sistemas, por ejemplo líneas hidráulicas. El uso de un modelo CAD 3D de todo un producto en esta forma se conoce, dependiendo de la situación industrial, como *modelo digital, prototipo digital* o *prototipo virtual.*

Los modelos CAD 3D también son la representación fundamental de numerosos tipos de análisis basados en computadora. Formas del CAE incluyen el análisis de elemento finito de flujo térmico o distribución de esfuerzos, prueba virtual de choques en automóviles, movimiento cinemático y dinámico de mecanismos complejos, los cuales se hacen más refinados cada año. En el desarrollo del PackBot, unos ingenieros realizaron un análisis de elemento finito de integridad estructural para entender esfuerzos de impacto en varios ángulos de caída y choque. La figura 14-13 muestra uno de estos resultados analíticos, basado en un modelo CAD 3D del PackBot. Los ingenieros también calcularon flujos térmicos y rendimiento de disipación térmica usando análisis de elemento finito basado en modelos CAD 3D.

Fabricación en forma libre

En 1984, el primer sistema comercial de fabricación en forma libre fue introducido por 3D Systems. Esta tecnología, llamada *estereolitografía,* así como docenas de tecnologías de la competencia que la siguieron, crea objetos físicos directamente de modelos CAD 3D y puede considerarse como "impresión tridimensional". Este conjunto de tecnologías a veces se denomina *construcción rápida de prototipos*. Casi todas las tecnologías trabajan, al construir un objeto, una capa en sección transversal a la vez, depositando un material o usando un láser para solidificar en forma selectiva un líquido o polvo. Las piezas resultantes casi siempre se hacen de plástico, pero existen otros materiales como cera, papel, cerámica y metales. En algunos casos las piezas se usan directamente para visualización o en prototipos funcionales, pero con frecuencia se usan como modelos para hacer moldes o patrones de los que se pueden fundir piezas con propiedades materiales particulares.

Las tecnologías de fabricación de forma libre hacen posible crear prototipos en tres dimensiones en las primeras etapas de construcción y a menor costo de lo que antes era posible. Cuando se usan en forma adecuada, estos prototipos pueden reducir el tiempo de desarrollo del producto y/o



Cortesía de iRobot Corp.

FIGURA 14-13 Análisis de elemento finito de la placa lateral del PackBot basado en un modelo CAD 3D. La imagen muestra la distribución de esfuerzo en un impacto lateral en la rueda trasera.

mejorar su calidad resultante. Además de facilitar la rápida construcción de prototipos funcionales, estas tecnologías se pueden usar para materializar conceptos del producto en forma rápida y a bajo costo, aumentando la facilidad con la cual los conceptos se puedan comunicar a otros miembros del equipo, a la alta administración, socios del desarrollo o a clientes potenciales. Por ejemplo, el prototipo PackBot que se ve en la figura 14-3*a*) fue hecho de componentes fabricados usando estereolitografía en sólo cuatro días.

Planeación de prototipos

Una dificultad potencial en el desarrollo de un producto es lo que Clausing llamó "pantano de hardware" (Clausing, 1994). El pantano lo causan los trabajos mal guiados en la construcción de prototipos; es decir, la construcción y depuración de prototipos (físicos o analíticos) que no ayudan de manera importante a alcanzar las metas del proyecto general de desarrollo de un producto. Una forma de evitar el pantano es definir con todo cuidado cada prototipo antes de embarcarse en el trabajo de construirlo y probarlo. Esta sección presenta un método de cuatro pasos para planear cada prototipo durante el proyecto de desarrollo de un producto. El método se aplica a todo tipo de prototipos: enfocados, integrales, físicos y analíticos. Una forma para registrar la información generada del método se ilustra en la figura 14-14. Usamos el prototipo de rueda del PackBot y la prueba de impacto que se muestra en la figura 14-6 como ejemplo para ilustrar el método.

Paso 1: Definir el propósito del prototipo

Recuerde los cuatro propósitos de construir prototipos: aprendizaje, comunicación, integración y alcance de hitos. Al definir el propósito de un prototipo, el equipo hace una lista de las necesidades de aprendizaje y comunicación. Los miembros del equipo también hacen una lista

Nombre de prototipo	Prueba de geometría/impactos de la rueda del PackBot
Propósito(s)	• Seleccionar geometría final de rayos de rueda y materiales con base en características de resistencia y absorción de choques. • Confirmar que las ruedas absorben choques para resistir impactos y proteger al PackBot y a su carga útil.
Nivel de aproximación Plan experimental	• Corregir geometría de rayos de rueda, materiales y carga en plataforma. • Construir 12 ruedas de prueba usando seis materiales diferentes, cada una con dos formas de rayos. • Montar las ruedas al aparato de prueba. • Realizar pruebas de impacto en un intervalo de alturas de caída.
Calendario	1 de agosto seleccionar diseños de rueda y materiales 7 de agosto completar diseño del aparato de prueba 14 de agosto ruedas y aparato de prueba construidos 15 de agosto ensamble completado 23 de agosto prueba completada 25 de agosto análisis de resultados de prueba completado

FIGURA 14-14 Forma para la planeación de prototipos de prueba de geometría/impactos de la rueda del PackBot.

de las necesidades de integración y resuelven si el prototipo está o no destinado a ser uno de los hitos principales del proyecto general de desarrollo del producto.

Para los prototipos de ruedas, el propósito era determinar las características de absorción de choques y robustez de las ruedas usando varias geometrías y materiales. Si bien estos prototipos de aprendizaje estuvieron enfocados principalmente a la operación o rendimiento, el equipo también estuvo considerando el costo de los materiales para manufactura, algunos de los cuales no eran moldeables y casi todos eran maquinados.

Paso 2: Establecer el nivel de aproximación del prototipo

La planeación de un prototipo exige que se defina hasta qué grado éste se aproximará al producto final. El equipo debe decidir si es necesario un prototipo físico o si un prototipo analítico satisface mejor sus necesidades. Casi siempre, el prototipo que mejor servirá para los fines establecidos en el paso 1 es el más sencillo. En algunos casos, un modelo anterior sirve como banco de pruebas y puede modificarse para los fines del prototipo. En otros casos pueden utilizarse prototipos existentes o que se encuentren en proceso de construcción para otro propósito.

Para el prototipo de la rueda el equipo decidió que materiales y geometría de la rueda eran atributos críticos relacionados con el rendimiento de impacto, de modo que era necesario construir el prototipo con todo cuidado y estos atributos en mente. No obstante, otros aspectos de la rueda podrían pasarse por alto, incluyendo el método de producción (moldeo contra maquinado), el aditamento para el sistema de propulsión y la banda de la oruga, así como el color y aspecto general de la rueda. Un miembro del equipo había explorado previamente un modelo analítico de la operación de doblamiento de rayos de la rueda y pensó que el prototipo físico era necesario para verificar su análisis. Él había descubierto una relación directa entre absorción de choque, que requería rayos más flexibles; y resistencia de la rueda, que necesitaba de rayos más grandes. El equipo utilizó el prototipo analítico para determinar las dimensiones de los rayos de la rueda que serían investigadas con el prototipo físico.

Paso 3: Bosquejar un plan experimental

En la mayor parte de los casos, el uso de un prototipo en el desarrollo de un producto puede ser visto como un experimento. Una buena práctica experimental ayuda a asegurar la extracción del máximo valor del trabajo de construir prototipos. El plan experimental incluye la identificación de las variables del experimento (si las hay), el protocolo de prueba, una indicación de qué medidas se tomarán y un plan para analizar los datos resultantes. Cuando es necesario explorar muchas variables, un diseño eficiente del experimento facilita en gran medida este proceso. El capítulo 15, Diseño robusto, analiza en detalle el diseño de experimentos.

Para las pruebas del prototipo de la rueda, el equipo decidió variar sólo los materiales y la geometría de red de los rayos. Con base en los modelos analíticos, se seleccionaron dos formas de rayos para prueba. Se escogieron también seis materiales diferentes para hacer un total de 12 diseños de prueba. El equipo diseñó una plataforma con peso en la que cada rueda pudiera montarse y un aparato de prueba para dejar caer la plataforma desde varias alturas. Decidieron instalar la plataforma para medir las fuerzas de aceleración transmitidas a través de las ruedas al PackBot ante un impacto. Después de cada prueba, inspeccionaron si la rueda había sufrido daños ya fuera en forma de grietas o como deformación plástica antes de aumentar la altura en la prueba. Estos resultados de prueba no sólo se usarían para seleccionar la mejor geometría

de la rueda y el material, sino también para mejorar el modelo analítico para uso futuro, lo que podría eliminar la construcción de prototipos físicos de diseños de ruedas modificados.

Paso 4: Crear un calendario para adquisición, construcción y prueba

Debido a que la construcción y prueba de un prototipo se consideran como subproyecto dentro del proyecto general del desarrollo, el equipo obtendrá beneficios de un calendario para la actividad de construir un prototipo. Tres fechas son particularmente importantes en la definición de un trabajo de construcción de prototipos. Primero, el equipo define cuándo estarán listas las partes para su ensamble. (Esto a veces se llama fecha de “cubeta de piezas”.) Segundo, el equipo define la fecha en que el prototipo se probará primero. (Esto a veces se llama fecha de “prueba de humo”, porque es la fecha en que el equipo aplicará potencia por primera vez y “buscará humo” en productos con sistemas eléctricos.) Tercero, el equipo define la fecha en que espera haber completado las pruebas y obtenido los resultados finales.

Para los prototipos de ruedas no era necesario ningún ensamble, de modo que cuando las piezas estuvieron listas se pudieron armar y probar los prototipos en forma más bien rápida. El equipo hizo planes para ocho días de pruebas y para dos días de análisis.

Planeación de prototipos de hito

El método para planear un prototipo que se vio antes, se aplica a todos los prototipos, incluyendo los que sean tan sencillos como la geometría de una rueda y otros tan complejos como el prototipo beta de todo el PackBot. No obstante, los prototipos integrales que un equipo utilice como objetivo de desarrollo se benefician de más planeación. Esta actividad, por lo general, ocurre en coordinación con la actividad general de planeación del desarrollo de un producto al final de la fase de desarrollo del concepto. De hecho, planear las fechas importantes es una parte integral de establecer un plan de proyecto general de desarrollo de un producto. (Vea el capítulo 18, Administración de proyectos.)

Si todo lo demás es igual, el equipo preferiría construir tan pocos prototipos de hito como sea posible porque el diseño, construcción y prueba de prototipos integrales consume gran cantidad de tiempo y dinero. No obstante, en realidad, pocos productos con alto nivel de diseño se desarrollan con menos de dos prototipos de hito y muchos otros requieren cuatro o más.

Como un caso práctico, el equipo debe considerar como hitos el uso de prototipos alfa, beta y de preproducción. El equipo debe considerar entonces si cualquiera de estos hitos puede eliminarse o si de hecho los prototipos adicionales son necesarios.

Los *prototipos alfa* se emplean por lo general para evaluar si el producto funciona como se pretende. Las partes de prototipos alfa a menudo son semejantes en material y geometría a las piezas que se usarán en la versión manufacturada del producto, pero en general se hacen con procesos de producción de prototipos. Por ejemplo, las piezas de plástico en un prototipo alfa pueden maquinarse o moldearse en hule en lugar de moldearse por inyección como en producción.

Los *prototipos beta* se emplean por lo general para evaluar la confiabilidad y para identificar defectos en el producto. Estos prototipos se dan con frecuencia a clientes para probarlos en el ambiente pretendido de uso. Las piezas de prototipos beta suelen hacerse con procesos reales de producción o las suministran los proveedores pretendidos de componentes, pero el producto por lo general no se ensambla con las herramientas de ensamble final. Por ejemplo, las piezas de plástico de un prototipo beta se pueden moldear con los moldes de inyección de

producción, pero probablemente serían ensambladas por un técnico en un taller de prototipos y no por trabajadores de producción o un equipo automatizado.

Los *prototipos de preproducción* son los primeros productos realizados con todo el proceso de producción. En este punto el proceso de producción todavía no opera a plena capacidad, pero fabrica cantidades limitadas del producto. Estos prototipos se usan para verificar la capacidad del proceso de producción, se someten a más pruebas y con frecuencia se dan a clientes preferidos. Los prototipos *de preproducción* a veces reciben el nombre de *prototipos de producción piloto.*

Las desviaciones más comunes respecto al plan de construcción de prototipos estándar son para eliminar uno de los prototipos estándar o para agregar más de los primeros prototipos. Eliminar un prototipo (por lo general el alfa) puede ser posible si el producto es muy semejante a otros productos que la empresa ya haya desarrollado y producido, o si el producto es extremadamente sencillo. Es común que existan más de los primeros prototipos en situaciones donde el producto integra un nuevo concepto o tecnología. Estos primeros prototipos a veces se llaman *prototipos experimentales* o *de ingeniería.* Por lo general no se ven como el producto final y muchas de las piezas del prototipo no se diseñan con la intención de finalmente producirlas.

Una vez tomadas las decisiones preliminares acerca del número de prototipos, sus características y el tiempo requerido para ensamblarlos y probarlos, el equipo puede poner estos objetivos en la línea general del tiempo del proyecto. Cuando el equipo trata de hacer un calendario de estos objetivos, la factibilidad del calendario general de desarrollo del producto se puede evaluar. Es frecuente que un equipo descubra, cuando trabaje en retrospectiva desde la fecha objetivo para el lanzamiento del producto, que el ensamble y prueba de un prototipo hito se traslape o se encuentre peligrosamente cerca del diseño y fabricación del siguiente prototipo importante. Si ocurre este traslape en la práctica, es la peor manifestación del "pantano de hardware". Cuando se traslapan fases en la construcción de prototipos, hay poca transferencia de aprendizaje de un prototipo al siguiente y el equipo debe considerar omitir uno o más de los prototipos para permitir que los prototipos restantes se extiendan más en el tiempo. Durante la planeación de un proyecto, las fases que se traslapen en la construcción de prototipos se pueden evitar si se inicia un proyecto con más prontitud, posponiendo el lanzamiento del producto, eliminando un prototipo importante, o diseñando una forma para acelerar las actividades de desarrollo que precedan a cada prototipo. (Vea en el capítulo 18, Administración de proyectos, algunas técnicas para lograr esta aceleración.)

Resumen

El desarrollo de un producto casi siempre requiere de la construcción y prueba de prototipos. Un prototipo es una aproximación al producto en una o más dimensiones de interés.

- Los prototipos se pueden clasificar de manera útil en dos dimensiones: 1) el grado al cual son físicos, en oposición a analíticos, y 2) el grado al cual son integrales, en oposición a enfocados.
- Los prototipos se usan para aprendizaje, comunicación, integración y alcance de hitos. Si bien todos los tipos de prototipos se pueden usar para estos propósitos, los prototipos físicos son mejores para comunicación y los prototipos integrales son mejores para integración y alcance de hitos.

- Varios principios son útiles para guiar decisiones acerca de prototipos durante el desarrollo de un producto:
    - Los prototipos analíticos son generalmente más flexibles que los físicos.
    - Los prototipos físicos se usan para detectar fenómenos imprevistos.
    - Un prototipo puede reducir el riesgo de costosas iteraciones.
    - Un prototipo puede facilitar otros pasos de desarrollo.
    - Un prototipo puede reestructurar dependencias de trabajo.
- El modelado en CAD 3D y las tecnologías de fabricación de forma libre han reducido el costo y tiempo relativos requeridos para crear y analizar prototipos.
- Un método de cuatro pasos para planear un prototipo es:
    1. Definir el propósito del prototipo.
    2. Establecer el nivel de aproximación del prototipo.
    3. Bosquejar un plan experimental.
    4. Crear un calendario para adquisición, construcción y prueba.
- Los prototipos de hito se definen en el plan de proyecto de desarrollo de un producto. El número de estos prototipos y su programación es uno de los elementos clave del plan general de desarrollo.

Referencias y bibliografía

Existen numerosos recursos actuales en internet **www.ulrich-eppinger.net**

Clausing describe algunas de las dificultades en la construcción de prototipos, incluyendo el “pantano de hardware”.

Clausing, Don, *Total Quality Development*, ASME Press, Nueva York, 1994.

Leonard-Barton describe cómo se usan prototipos para la integración de diferentes funciones de desarrollo de un producto.

Leonard-Barton, Dorothy, “Inanimate Integrators: A Block of Wood Speaks,” *Design Management Journal*, vol. 2, núm. 3, verano de 1991, pp. 61-67.

Cusumano describe el uso en Microsoft de la “construcción diaria” en su proceso de desarrollo de software. La construcción diaria es un ejemplo extremo de usar prototipos integrales para forzar la integración.

Cusumano, Michael A., “How Microsoft Makes Large Teams Work Like Small Teams,” *Sloan Management Review*, otoño de 1997, pp. 9-20.

Schrage presenta una vista del desarrollo de un producto centrado alrededor del papel de la construcción de prototipos y la simulación en el proceso de innovación.

Schrage, Michael, *Serious Play: How the World’s Best Companies Simulate to Innovate*, Harvard Business School Press, Boston, 2000.

Thomke explica la relación entre métodos eficaces de construcción de prototipos y una exitosa innovación. Afirma que nuevas tecnologías están cambiando la economía de la experimentación, lo que lleva a mejor rendimiento del proceso de desarrollo de un producto.

Thomke, Stefan H., *Experimentation Matters: Unlocking the Potential of New Technologies for Innovation*, Harvard Business School Press, Boston, 2003.

La presentación de Kelley y Littman del altamente exitoso proceso de desarrollo de un producto de IDEO incluye una descripción de cómo IDEO usa prototipos para resolver problemas (aprendizaje), trabajar clientes (comunicación) y mover proyectos hacia delante por medio de un proceso iterativo (alcance de hitos).

Kelley, Tom con Jonathan Littman, *The Art of Innovation: Lessons in Innovation from IDEO, America's Leading Design Firm*, Doubleday, Nueva York, 2001.

Dos libros escritos para audiencias en general contienen explicaciones muy interesantes de la construcción de prototipos. El libro de Sabbagh sobre el desarrollo del Boeing 777 contiene detalles que atraen la atención sobre pruebas de sistemas de frenos y pruebas de resistencia de las alas, entre otras. El libro de Walton sobre el desarrollo del Ford Taurus 1996 contiene fascinantes descripciones de construcción de prototipos y pruebas en la industria del automóvil. Particularmente atractiva es la descripción de probar calentadores en el norte de Minnesota a mitad de invierno, usando ingenieros de desarrollo como sujetos.

Sabbagh, Karl, *Twenty-First-Century Jet: The Making and Marketing of the Boeing 777*, Scribner, Nueva York, 1996.

Walton, Mary, *Car: A Drama of the American Workplace*, Norton, Nueva York, 1997.

Wall, Ulrich y Flowers dan una definición formal de la calidad de un prototipo en términos de fidelidad de la versión de producción de un producto. Usan esta definición para evaluar las tecnologías de construcción de prototipos disponibles para piezas de plástico.

Wall, Matthew B., Karl T. Ulrich y Woodie C. Flowers, "Evaluating Prototyping Technologies for Product Design," *Research in Engineering Design*, vol. 3, 1992, pp. 163-177.

Wheelwright y Clark describen el uso de prototipos como herramienta gerencial para programas importantes de desarrollo de un producto. Este análisis de ciclos periódicos de construcción de prototipos es particularmente interesante.

Wheelwright, Stephen C., y Kim B. Clark, *Revolutionizing Product Development: Quantum Leaps in Speed, Efficiency, and Quality*, The Free Press, Nueva York, 1992.

Ejercicios

1. Un fabricante de muebles considera producir una línea de productos para sentarse; serían fabricados por corte y doblez de un material plástico reciclado que se puede adquirir en láminas grandes. Diseñe el lector cuando menos un prototipo de una silla cortando y doblando una hoja de papel o cartón. (Puede diseñar la silla con un bosquejo primero, o si quiere puede empezar a trabajar con la hoja directamente.) ¿Qué puede aprender acerca del diseño de la silla a partir de su prototipo? ¿Qué no puede aprender acerca del diseño de la silla a partir de un prototipo?
2. Posicione el prototipo de silla descrito en el ejercicio 1 en la gráfica de la figura 14-5. ¿Para cuál de los cuatro propósitos principales un equipo de diseño de productos usaría ese prototipo?
3. Diseñe un plan de construcción de prototipos (semejante al de la figura 14-14) para investigar la comodidad de diferentes tipos de mangos para cuchillos de cocina.
4. Posicione los prototipos mostrados en las figuras 14-3, 14-4, 14-6, 14-7 y 14-13 en la gráfica de la figura 14-5. Explique brevemente su razonamiento para cada colocación.

Preguntas de análisis

1. Numerosos equipos de desarrollo de productos separan el prototipo de "se ve como" del prototipo "funciona como". Hacen esto porque integrar función y forma es difícil en las primeras fases de desarrollo. ¿Cuáles son los puntos fuertes y los débiles de este método? ¿Para qué tipos de productos podría ser peligroso este método?
2. Hoy en día existen varias tecnologías capaces de crear piezas físicas directamente de archivos CAD 3D (por ejemplo, estereolitografía y sinterización selectiva con láser). ¿Cómo podría un equipo usar

estas tecnologías de construcción rápida de prototipos durante la fase de desarrollo de un concepto del proceso de desarrollo de un producto? ¿Podrían estas tecnologías facilitar la identificación de necesidades de clientes, establecer especificaciones, generar conceptos de un producto, seleccionar conceptos de un producto y/o probar conceptos de un producto?

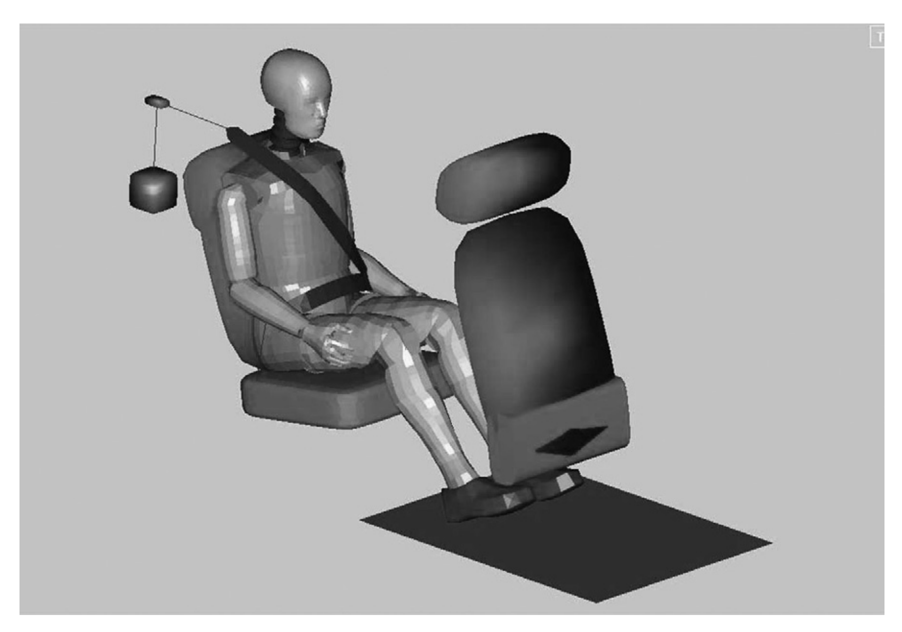
3. Se dice que algunas empresas han abandonado la práctica de hacer una prueba a clientes con los primeros prototipos de sus productos, prefiriendo en cambio ir directa y rápidamente al mercado para observar la verdadera respuesta de clientes. ¿Para qué tipos de productos y mercados podría tener sentido esta práctica?

4. ¿Un dibujo es un prototipo físico o analítico?

5. Microsoft utiliza frecuentes prototipos integrales en su desarrollo de software. En realidad, en algunos proyectos hay una “construcción diaria” en la que una nueva versión del producto se integra *todos los días*. ¿Este método es viable sólo para productos de software o podría usarse también para productos físicos? ¿Cuáles podrían ser los costos y ventajas de ese método para productos físicos?

CAPÍTULO QUINCE

Diseño robusto



Cortesía de Ford Motor Co.

FIGURA 15-1 Experimento de cinturón de seguridad del asiento trasero de un automóvil. Este experimento fue ejecutado en un modelo de simulación para explorar numerosos parámetros de diseño y condiciones de ruido.

Los ingenieros de seguridad de Ford Motor Company estuvieron trabajando con un proveedor para entender mejor el funcionamiento de los cinturones de seguridad de asientos traseros en automóviles. En cualquier sistema convencional de cinturones de seguridad con bandas para hombros y para cintura, si la parte de la cintura del cinturón se corre hacia arriba, el pasajero puede deslizarse bajo ella y potencialmente sufrir una lesión abdominal. Este fenómeno, llamado "inmersión", está relacionado con un gran número de factores entre los que se incluye la naturaleza de la colisión, el diseño del vehículo, las propiedades de los asientos y cinturones de seguridad, así como otras condiciones. Con base en experimentación, simulación y análisis, los ingenieros de Ford esperaban determinar los factores más críticos para la seguridad del pasajero y evitar la "inmersión". La imagen que se muestra en la figura 15-1 describe el modelo utilizado en el análisis de simulación de Ford.

Este capítulo presenta un método para diseñar y realizar experimentos que mejoren el desempeño de productos, incluso en presencia de variaciones no controladas. Este método se conoce como diseño robusto.

¿Qué es el diseño robusto?

Definimos un producto (o proceso) *robusto* como aquel que funciona como se desea aun bajo condiciones no ideales como son variaciones del proceso de manufactura o una variedad de situaciones de operación. Usamos el término *ruido* para describir variaciones no controladas que pueden afectar al funcionamiento y decimos que un producto de calidad debe ser robusto ante factores de ruido.

Un *diseño robusto* es la actividad de desarrollo de un producto para mejorar el desempeño deseado del producto al mismo tiempo que se minimizan los efectos de ruido. En diseño robusto empleamos experimentos y análisis de datos para identificar puntos de referencia robustos para los parámetros de diseño que podemos controlar. Un *punto de referencia robusto* es una combinación de valores de parámetro de diseño para los cuales el desempeño del producto es como se desea bajo una amplia variedad de condiciones de operación y variaciones de manufactura.

Conceptualmente, el diseño robusto es fácil de entender. Para un objetivo determinado de desempeño (restringir con seguridad el movimiento de pasajeros de asientos traseros, por ejemplo) puede haber muchas combinaciones de valores de parámetro que darán el resultado deseado. No obstante, algunas de estas combinaciones son más sensibles a una variación incontrolable que otras. Como es probable que el producto opere en presencia de varios factores de ruido, nos gustaría seleccionar la combinación de valores de parámetro que sea menos sensible a una variación incontrolable. El proceso de diseño robusto usa un método experimental para hallar estos puntos de referencia robustos.

Para entender el concepto de puntos de referencia robustos, considere dos factores hipotéticos que afectan a alguna medida de la operación de un cinturón de seguridad, como se ve en la figura 15-2. Suponga que el factor A tiene un efecto lineal, f_A, sobre el funcionamiento y el factor B tiene un efecto no lineal, f_B. Además, considere que podemos escoger puntos de referencia para cada uno de los factores: A1 o A2 para el factor A, y B1 o B2 para el factor B. Suponiendo que los efectos de f_A y f_B sean aditivos, una combinación de A1 y B2 dará aproximadamente el mismo nivel de desempeño general que una combinación de A2 y B1. Variaciones de manufactura estarán presentes en cualquier punto de referencia seleccionado, de modo que el valor real puede no ser exactamente como se especifica. Al escoger el valor de B1 para el

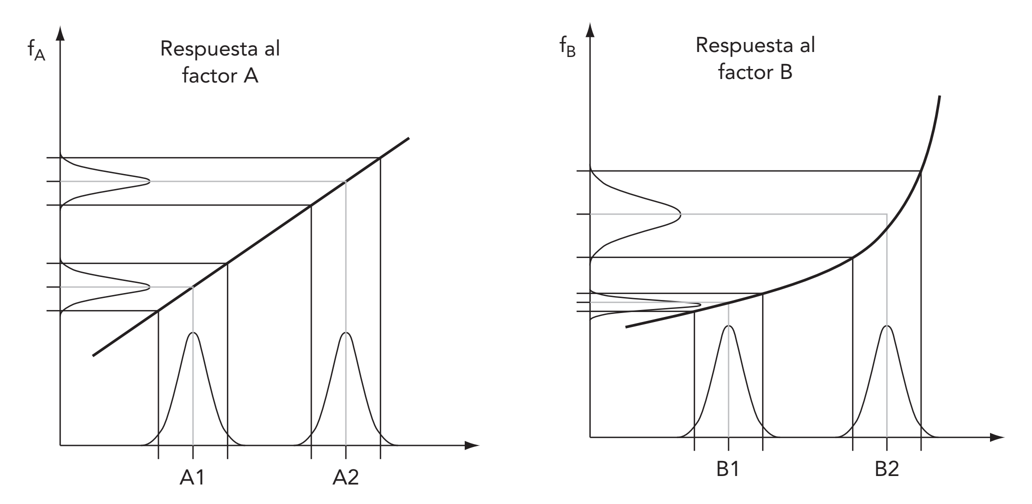


FIGURA 15-2 El diseño robusto explota relaciones no lineales para identificar puntos de referencia donde el desempeño del producto sea menos sensible a variaciones. En este ejemplo, el valor seleccionado para el punto de referencia de factor A no afecta a la robustez, mientras que el factor B sí la afecta. Seleccionar B1 minimiza el efecto de variación del factor B en el desempeño general.

factor B, donde la sensibilidad de la respuesta al factor B es relativamente pequeña, una variación no buscada en el factor B tiene una influencia relativamente pequeña en el desempeño general del producto. Por lo tanto, la selección de B1 y A2 es una combinación más robusta de puntos de referencia que la combinación de B2 y A1.

El proceso de diseño robusto se puede usar en varias etapas del proceso de desarrollo de un producto. Al igual que con casi todos los problemas de desarrollo de un producto, cuanto más pronto se pueda considerar la robustez en el proceso de desarrollo de un producto, serán mejores los resultados de la robustez. Se pueden usar experimentos de diseño robusto dentro de la fase de desarrollo del concepto para refinar las especificaciones y establecer objetivos realistas de operación. Si bien es benéfico considerar la robustez de un producto desde la etapa del concepto, los experimentos de diseño robusto se usan con más frecuencia durante la fase de diseño de detalles para asegurar el desempeño deseado del producto bajo una variedad de condiciones. En diseño de detalles la actividad del diseño robusto también se conoce como *diseño de parámetros,* ya que es cuestión de escoger los puntos de referencia correctos para los parámetros de diseño bajo nuestro control. Éstos incluyen los materiales del producto, dimensiones, tolerancias, procesos de manufactura e instrucciones de operación.

Para muchos problemas de diseño de ingeniería, de las ecuaciones basadas en principios físicos fundamentales se pueden despejar selecciones de un parámetro robusto. No obstante, de ordinario algunos ingenieros no pueden modelar por completo las clases de incertidumbre, variaciones y factores de ruido que aparecen bajo condiciones reales. Además, la capacidad para desarrollar modelos matemáticos precisos es limitada para muchos problemas de ingeniería. Por ejemplo, considere la dificultad de modelar con precisión el problema de "inmersión" del cinturón de seguridad bajo una gran variedad de condiciones. En estas situaciones, es necesaria la investigación empírica por medio de experimentos diseñados, que se pueden usar para apoyar de manera directa la toma de decisiones y para mejorar la precisión de modelos matemáticos.

En el caso del problema del diseño de cinturones de seguridad, los ingenieros de Ford deseaban probar diversos parámetros de diseño del cinturón de seguridad en condiciones de colisión, pero como la prueba en choques es muy costosa, la Ford trabajó con su proveedor de cinturones de seguridad para desarrollar un modelo de simulación que se calibró usando datos de choques experimentales. Considerando los cientos de posibles combinaciones de parámetros de diseño, condiciones de colisión y otros factores de interés, los ingenieros escogieron explorar el modelo de simulación usando un experimento cuidadosamente planeado. Aun cuando la simulación requiere de una gran cantidad de trabajo en computadora, el modelo de simulación permitió a ingenieros de Ford ejecutar docenas de experimentos bajo una amplia variedad de condiciones, que no hubieran sido posibles con pruebas físicas de choques.

Para el equipo de diseño de cinturones de seguridad de Ford, las metas de este experimento diseñado fueron aprender:

- Qué combinación de asiento, cinturón de seguridad y parámetros de fijación minimiza la "inmersión" de pasajeros en asientos traseros durante un choque.
- En qué forma la "inmersión" es afectada por condiciones incontroladas. ¿Qué combinación de parámetros de diseño es más robusta para esos factores de ruido?

Diseño de experimentos

El método de diseño robusto presentado en este capítulo está basado en un método llamado *diseño de experimentos* (DOE). En este método, el equipo identifica los parámetros que se pueden controlar y los factores de ruido que desea investigar. El equipo entonces diseña, ejecuta y analiza experimentos para ayudar a determinar los puntos de referencia de parámetros para alcanzar el desempeño robusto.

En Japón, durante las décadas de 1950 y 1960, el doctor Genichi Taguchi desarrolló técnicas para aplicar el DOE en mejorar la calidad de productos y procesos de manufactura. Comenzando con el movimiento de calidad de la década de 1980, el método del doctor Taguchi para el diseño experimental empezó a tener relevancia en la práctica de ingeniería en Estados Unidos, en particular en Ford Motor Company, Xerox Corporation, AT&T Bell Laboratories, y hasta en el American Supplier Institute (que fue creado por Ford).

Taguchi recibe crédito por promover varias ideas clave de diseño experimental para el desarrollo de productos y procesos robustos. Estas aportaciones incluyen la introducción de factores de ruido en experimentos para observar estos efectos y el uso de una métrica de *relación de señal a ruido* que incluye el desempeño deseado (señal) y los efectos no deseados (ruido). Si bien durante décadas los expertos en estadística habían estado mostrando a ingenieros cómo ejecutar experimentos, no fue sino hasta que los métodos de Taguchi se explicaron ampliamente a la industria manufacturera en Estados Unidos, durante la década de 1990, que los experimentos se utilizaron comúnmente para alcanzar un diseño robusto.

El DOE no es sustituto del conocimiento técnico del sistema bajo investigación. En realidad, el equipo debe usar su conocimiento del producto y forma de operación para escoger los parámetros correctos para investigar por experimento. Los resultados experimentales se pueden usar en coordinación con conocimiento técnico del sistema para hacer las mejores selecciones de puntos de referencia de parámetros. Además, los resultados experimentales se pueden emplear para construir mejores modelos matemáticos de la función del producto. En esta forma, la experimentación complementa al conocimiento técnico. Por ejemplo, los ingenieros de Ford tienen modelos matemáticos básicos del desempeño de cinturones de seguridad como una función de las dimensiones de un pasajero y tipos de colisión. Estos modelos permiten a

la Ford dar dimensiones a elementos mecánicos y determinar la geometría del aditamento del cinturón. Con base en datos empíricos y simulación, los modelos analíticos y las directrices de diseño de cinturones de seguridad de Ford ganan precisión con el tiempo, y reducen la necesidad de estudios empíricos y de simulación que llevan mucho tiempo. Eventualmente, este conocimiento técnico puede mejorar hasta el punto en que sólo se requieren pruebas de confirmación de nuevas configuraciones de cinturones de seguridad.

El diseño y análisis experimental básico para desarrollo de un producto pueden ser planeados y ejecutados con éxito por el equipo de desarrollo. No obstante, el campo del diseño de experimentos tiene muchos métodos avanzados para resolver varios factores complicados y dar resultados experimentales más útiles. Los equipos de desarrollo así se pueden beneficiar de consultar a un experto en estadística o un experto en DOE que puede ayudar a diseñar el experimento y escoger el mejor método analítico.

El proceso de diseño robusto

Para desarrollar un producto robusto por medio del diseño de experimentos (DOE), sugerimos este proceso de siete pasos:

1. Identificar factores de control, factores de ruido y métricas de desempeño.
2. Formular una función objetivo.
3. Desarrollar el plan experimental.
4. Ejecutar el experimento.
5. Realizar el análisis.
6. Seleccionar y confirmar puntos de referencia de factor.
7. Meditar y repetir.

Paso 1: Identificar factores de control, factores de ruido y métricas de desempeño

El procedimiento de diseño robusto se inicia con la elaboración de tres listas: factores de control, factores de ruido y métricas de desempeño para el experimento:

- ***Factores de control:*** Son las variables de diseño bajo control durante el experimento, se usan para explorar el desempeño del producto bajo las numerosas combinaciones de puntos de referencia de parámetro. Los experimentos generalmente se ejecutan en dos o tres niveles discretos (valores de punto de referencia) de cada factor. Estos parámetros se denominan factores de control porque están entre las variables que se pueden especificar para producción y/u operación del producto. Por ejemplo, la rigidez del tejido y coeficiente de fricción son factores de control de interés para el experimento.
- ***Factores de ruido:*** Son variables que no se pueden controlar de manera explícita durante la manufactura y operación del producto. Los factores de ruido incluyen varianzas de manufactura, cambios en propiedades de materiales, múltiples situaciones o condiciones de operación de usuario, y hasta deterioro o mal uso del producto. Si por medio de técnicas especiales el equipo puede controlar los factores de ruido durante el experimento (pero no en producción u operación), entonces la varianza se puede inducir de manera deliberada durante el experimento para evaluar su efecto. De otro modo, el equipo simplemente deja que el ruido ocurra durante el experimento, analiza los resultados en presencia de una variación típica y busca minimizar los efectos de esta variación. Los cinturones de seguri-

dad a usarse con varios asientos, la forma y el tejido del asiento deben considerarse como factores de ruido. La meta es diseñar un sistema de cinturones de seguridad que funcione bien, sin tener en cuenta los valores de estos factores.

- ***Métricas de desempeño:*** Son las especificaciones de interés del producto en el experimento. Por lo general, el experimento se analiza con una o dos especificaciones clave del producto, como métricas de desempeño, para hallar puntos de referencia de factor de control y optimizar este desempeño. Estas métricas se pueden derivar de manera directa a partir de especificaciones clave donde la robustez es de interés crítico. (Vea el capítulo 6, Especificaciones del producto.) Por ejemplo, la distancia a la que la espalda o la cadera del pasajero se muevan hacia delante durante la colisión, serían métricas posibles de desempeño para el experimento del cinturón de seguridad.

Para el problema del diseño del cinturón, el equipo se reunió para hacer una lista de factores de control, factores de ruido y métricas de desempeño. Como Taguchi lo enseñó, colocaron estas listas en una sola gráfica llamada *diagrama de parámetros* (o *diagrama p*), como se ve en la figura 15-3.

Después de hacer una lista de los diversos factores, el equipo debe decidir cuáles se han de explorar por experimento. Cuando se sospeche que un gran número de parámetros afectan potencialmente al desempeño, la selección de variables críticas puede reducirse de manera importante con el uso de modelos analíticos y/o al ejecutar un *experimento de selección* con dos niveles para cada uno de muchos factores. Entonces un experimento más fino es ejecutarlo con dos o más niveles de los pocos parámetros que se piense que afectan al desempeño.

Los ingenieros de Ford consideraron las listas mostradas en la figura 15-3. Escogieron enfocar el experimento en la exploración de siete parámetros del cinturón de seguridad, manteniendo constantes los lugares geométricos de los tres puntos de sujeción. Decidieron usar el "ángulo de espalda al valor máximo" como la métrica de salida, el ángulo que la espalda del pasajero forma con respecto a la vertical en el momento de máxima sujeción. El ángulo de la espalda es una métrica de desempeño de "más pequeño es mejor" medido en radianes.

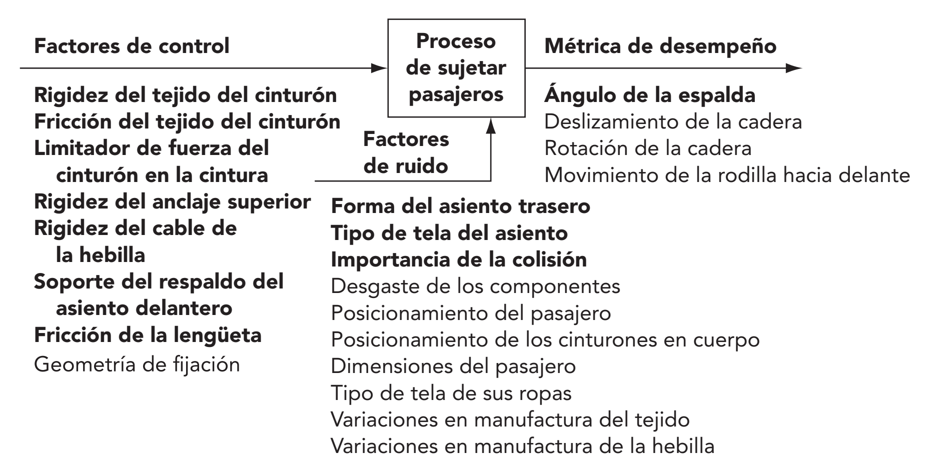


FIGURA 15-3 Diagrama de parámetros empleado para diseñar el experimento del cinturón de seguridad. El texto en negritas indica la métrica de desempeño empleada y los factores de control y factores de ruido escogidos para exploración.

Una inquietud básica en este experimento fue el efecto de tres factores particulares de ruido: forma del asiento, tipo de tela e importancia de la colisión. Por medio de análisis preliminar, el equipo encontró las mejores y peores combinaciones de estas condiciones de ruido con respecto al efecto de "inmersión". Estos tres factores de ruido por lo tanto se combinaron en dos condiciones extremas de ruido para los fines del experimento. Este método, conocido como *ruido compuesto*, puede ser útil cuando deban considerarse muchos factores de ruido. (Vea Prueba de factores de ruido, en el paso 3.)

Paso 2: Formular una función objetivo

La(s) métrica(s) de desempeño del experimento debe(n) transformarse en una *función objetivo* que se relacione con el desempeño robusto deseado. Varias funciones objetivo son útiles en el diseño robusto para diferentes tipos de inquietudes de desempeño. Se pueden formular ya sea como funciones a ser maximizadas o minimizadas, e incluyen:

- ***Maximización:*** Este tipo de función se emplea en dimensiones de desempeño donde valores mayores son mejores, como lo es una máxima desaceleración antes del desliz del cinturón de seguridad. Las formas comunes de esta función objetivo η son $\eta = \mu$ o $\eta = \mu^2$, donde μ es la media de las observaciones experimentales bajo una condición determinada de prueba.
- ***Minimización:*** Este tipo de función se usa en dimensiones de desempeño donde valores más pequeños son mejores, por ejemplo el ángulo de la espalda en desaceleración máxima. Formas comunes de esta función objetivo son $\eta = \mu$ o $\eta = \sigma^2$, donde σ^2 es la varianza de las observaciones experimentales bajo una condición determinada de prueba. Alternativamente, estos objetivos de minimización se pueden formular como funciones a ser maximizadas, como $\eta = 1/\mu$ o $\eta = 1/\sigma^2$.
- ***Valor objetivo:*** Este tipo de función se usa para dimensiones de desempeño donde valores más cercanos a un punto de referencia deseado u objetivo son mejores, como es la cantidad de aflojamiento del cinturón antes de la sujeción. Una forma común de maximización de esta función objetivo es $\eta = 1/(\mu - t)^2$, donde t es el valor objetivo.
- ***Relación señal a ruido:*** Este tipo de función se usa particularmente para medir robustez. Taguchi formula esta métrica como una razón con la respuesta deseada en el numerador y la varianza en la respuesta como el denominador. Generalmente el valor medio de la respuesta deseada, como es el ángulo medio de la espalda al valor máximo, no es difícil de ajustar si se cambian factores de control. En el denominador ponemos la varianza de esta respuesta (respuesta de ruido) que ha de minimizarse, por ejemplo la varianza en el ángulo de la espalda que resulte de condiciones de ruido. En la práctica, reducir la varianza es más difícil que cambiar la media. Al calcular esta relación, podemos destacar ajustes de factor robusto para los que la respuesta de ruido es relativamente baja en comparación con la respuesta de señal. Una forma común de maximización de esta función objetivo es $\eta = 10 \log (\mu^2/\sigma^2)$.

El experto en estadística de Ford que consultó con el equipo sugirió dos funciones objetivo: el ángulo promedio de la espalda al valor máximo y el intervalo del ángulo de la espalda al valor máximo (la diferencia entre el ángulo máximo y el mínimo de la espalda al valor máximo en las dos condiciones de ruido a probar). Éstos son dos objetivos a minimizar. Estas dos métricas juntas darían una idea más clara del comportamiento del sistema, lo que ninguna de las antes consideradas haría por sí sola.

Paso 3: Desarrollar el plan experimental

Los expertos en estadística han desarrollado numerosos tipos de planes experimentales eficientes. Éstos establecen cómo variar los *niveles del factor* (valores de factores de control y quizá también algunos de los factores de ruido) en una serie de experimentos, para explorar el comportamiento del sistema. Algunos planes del diseño de experimentos (DOE) son más eficientes para caracterizar ciertos tipos de sistemas, mientras otros dan un análisis más completo.

Diseños experimentales

Una inquietud crítica en el diseño de experimentos es el costo de preparar y ejecutar los intentos experimentales. En situaciones donde este costo es bajo, ejecutar un gran número de intentos y usar un diseño experimental con resolución suficientemente alta para explorar más factores, combinaciones de factores e interacciones, puede ser factible. Por otra parte, cuando el costo de experimentación es alto, pueden usarse planes eficientes de DOE que en forma simultánea cambien varios factores. Algunos de los diseños experimentales más populares aparecen en la lista siguiente y se describen en la figura 15-4. Cada uno tiene importantes usos.

- ***Factorial completo:*** Este diseño comprende la exploración sistemática de toda combinación de niveles de cada factor. Esto permite al equipo identificar todos los efectos de la interacción multifactorial, además del efecto primario (principal) de cada factor en operación. Este tipo de experimento es generalmente práctico sólo para un pequeño número de factores y niveles y cuando los experimentos son de bajo costo (como es el caso con simulaciones basadas en software o hardware muy flexible). Para una investigación de k factores a n niveles cada uno, el número de intentos en el experimento factorial completo es n^k. La experimentación factorial completa suele ser irrealizable para un experimento con más de cuatro o cinco factores.
- ***Factorial fraccional:*** Este diseño utiliza sólo una pequeña fracción de las combinaciones empleadas líneas antes. A cambio de su eficiencia se sacrifica capacidad para calcular las magnitudes de todos los efectos de interacción. En cambio, las interacciones se confunden con otras interacciones o con algunos de los efectos principales de factor. Nótese que el esquema factorial fraccional todavía mantiene un *equilibrio* dentro del plan experimental. Esto significa que para los diversos intentos a cualquier nivel determinado de factores, cada uno de los otros factores se prueba en cada nivel el mismo número de veces.
- ***Matriz ortogonal:*** Este diseño es el plan factorial fraccional más pequeño que todavía permite al equipo identificar los efectos principales de cada factor, aun cuando estos efectos principales se confunden con muchos otros efectos de interacción. No obstante, los esquemas de matriz ortogonal se utilizan ampliamente en investigaciones técnicas porque son muy eficientes. Taguchi popularizó el método DOE de matriz ortogonal, a pesar de que expertos en estadística habían desarrollado esos planes varias décadas antes y los orígenes de estos diseños se pueden seguir hasta siglos atrás. Los planes de matriz ortogonal se denominan de acuerdo con el número de filas (experimentos) de la matriz: L4, L8, L9, L27 y así sucesivamente. El apéndice de este capítulo muestra varios planes experimentales de matriz ortogonal.
- ***Un factor a la vez:*** Éste es un plan experimental desbalanceado porque cada uno de los intentos se realiza con todos los factores, excepto uno, a niveles nominales (y el primer intento con todos los factores al nivel nominal). Esto generalmente se considera como una forma poco eficiente de explorar el espacio factorial, aun cuando el número de inten-

tos es pequeño, $1 + k(n - 1)$. No obstante, para la optimización del parámetro en sistemas con interacciones significativas, se ha demostrado que una versión adaptable del plan experimental de uno a la vez es por lo general más eficiente que los planes de matrices ortogonales (Frey *et al*., 2003).

Matriz factorial completa

			A1								A2							
			B1				B2				B1				B2			
			C1		C2		C1		C2		C1		C2		C1		C2	
			D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2
E1	F1	G1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		G2	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	F2	G1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		G2	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
E2	F1	G1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		G2	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	F2	G1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		G2	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

Matriz factorial de 1/2 fraccional

			A1								A2							
			B1				B2				B1				B2			
			C1		C2		C1		C2		C1		C2		C1		C2	
			D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2
E1	F1	G1	×			×		×	×			×	×		×			×
		G2		×	×		×			×	×			×		×	×	
	F2	G1		×	×		×			×	×			×		×	×	
		G2	×			×		×	×			×	×		×			×
E2	F1	G1		×	×		×			×	×			×		×	×	
		G2	×			×		×	×			×	×		×			×
	F2	G1	×			×		×	×			×	×		×			×
		G2		×	×		×			×	×			×		×	×	

Matriz factorial de 1/4 fraccional

			A1								A2							
			B1				B2				B1				B2			
			C1		C2		C1		C2		C1		C2		C1		C2	
			D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2
E1	F1	G1	×			×		×	×			×	×		×			×
		G2																
	F2	G1																
		G2	×			×		×	×			×	×		×			×
E2	F1	G1																
		G2		×	×		×			×	×			×		×	×	
	F2	G1		×	×		×			×	×			×		×	×	
		G2																

Matriz factorial de 1/8 fraccional

			A1								A2							
			B1				B2				B1				B2			
			C1		C2		C1		C2		C1		C2		C1		C2	
			D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2
E1	F1	G1	×												×			
		G2				×												×
	F2	G1							×				×					
		G2						×				×						
E2	F1	G1						×				×						
		G2							×				×					
	F2	G1				×												×
		G2	×												×			

Matriz ortogonal L8
(Matriz factorial de 1/16 fraccional)

			A1								A2							
			B1				B2				B1				B2			
			C1		C2		C1		C2		C1		C2		C1		C2	
			D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2
E1	F1	G1	×															
		G2														×		
	F2	G1												×				
		G2							×									
E2	F1	G1								×								
		G2											×					
	F2	G1													×			
		G2		×														

Un factor a la vez

			A1								A2							
			B1				B2				B1				B2			
			C1		C2		C1		C2		C1		C2		C1		C2	
			D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2
E1	F1	G1	×	×	×		×				×							
		G2	×															
	F2	G1	×															
		G2																
E2	F1	G1	×															
		G2																
	F2	G1																
		G2																

Fuente: Matriz factorial fraccional adaptada de Ross (1996).

FIGURA 15-4 Varios planes experimentales alternativos para siete factores (A, B, C, D, E, F y G) a dos niveles cada uno. El experimento factorial completo contiene $2^7 = 128$ intentos, mientras que el diseño de la matriz ortogonal L8 contiene sólo ocho intentos, denotados por las marcas × en las matrices. El plan de matriz ortogonal L8 es el que se emplea para el experimento del cinturón de seguridad y se muestra en formato convencional de fila/columna en la figura 15-5.

Factor	Descripción
A	**Rigidez del tejido del cinturón:** Característica de conformidad del tejido medida en una máquina de carga de tracción
B	**Fricción del tejido del cinturón:** Coeficiente de fricción, que es una función del tejido del cinturón y el recubrimiento de la superficie
C	**Limitador de fuerza del cinturón en la cintura:** Permite el afloje controlado del cinturón de seguridad a cierto nivel de fuerza
D	**Rigidez de anclaje superior:** Característica de conformidad de la estructura a la que está montado el anclaje superior (lazo D)
E	**Rigidez de cable de la hebilla:** Característica de conformidad de los cables por medio de los cuales la hebilla está unida a la carrocería del vehículo
F	**Soporte del respaldo del asiento delantero:** Perfil y rigidez del respaldo del asiento donde las rodillas pueden tocar
G	**Fricción de lengüeta:** Coeficiente de fricción para el área de sostén de la lengüeta que se desliza a lo largo del tejido

	A	B	C	D	E	F	G	N−	N+
1	1	1	1	1	1	1	1		
2	1	1	1	2	2	2	2		
3	1	2	2	1	1	2	2		
4	1	2	2	2	2	1	1		
5	2	1	2	1	2	1	2		
6	2	1	2	2	1	2	1		
7	2	2	1	1	2	2	1		
8	2	2	1	2	1	1	2		

FIGURA 15-5 Asignaciones de factor y diseño de experimento de matriz ortogonal L8 empleados en el experimento del cinturón de seguridad. Este plan DOE prueba siete factores en dos niveles cada uno. Cada fila se replicó dos veces, bajo las condiciones de ruido compuestas, lo que dio 16 puntos de datos de prueba para el análisis.

El equipo de Ford escogió usar el diseño de experimento de matriz ortogonal L8 porque este plan sería una forma eficiente de explorar siete factores en dos niveles cada uno. Rondas subsiguientes de experimentación podrían emplearse más adelante para explorar niveles adicionales de parámetros clave, así como efectos de interacción si se necesitan. El plan experimental de matriz ortogonal se presenta en la figura 15-5.

Prueba de factores de ruido

Se emplean varios métodos para explorar los efectos de factores de ruido en experimentos. Si algunos factores de ruido se pueden controlar para fines del experimento, entonces puede ser posible evaluar de manera directa el efecto de estos factores de ruido. Si los factores de ruido no se pueden controlar durante el experimento, permitimos que el ruido varíe de modo natural y simplemente evaluamos el rendimiento del producto en presencia de ruido. Algunas formas comunes para probar factores de ruido son:

- Asignar columnas adicionales en la matriz ortogonal o esquema factorial fraccional a los factores de ruido, tratando esencialmente el ruido como otra variable. Esto permite determinar los efectos de los factores de ruido junto con los factores de control.
- Usar una *matriz externa* para los factores de ruido. Este método prueba varias combinaciones de los factores de ruido para cada fila de la matriz principal (interior). Un ejemplo de este método se ve en el apéndice, donde la matriz externa está formada por un diseño L4, probando combinaciones de tres factores de ruido al replicar cada fila cuatro veces.
- Ejecutar réplicas de cada fila, permitiendo que el ruido varíe de un modo natural y no controlado en todo el experimento, resultando en varianza medible en desempeño para cada fila. Con este método, es particularmente importante hacer aleatorio el orden de los intentos para que cualquier tendencia en el ruido sea improbable de estar correlacionada con los cambios sistemáticos de los factores de control. (Vea el paso 4.)
- Ejecutar réplicas de cada fila con *ruido compuesto.* En este método, los factores de ruido seleccionados se combinan para crear varias condiciones de ruido representativas o condiciones extremas de ruido. Este método también da varianza medible para cada fila, lo cual puede ser atribuido al efecto del ruido.

El equipo de Ford escogió utilizar el método del ruido compuesto en el experimento del cinturón de seguridad. El equipo probó cada fila usando las dos combinaciones de los tres factores de ruido que representan las condiciones de mejor y peor caso. Esto resultó en 16 ejecuciones experimentales para el plan L8 DOE, como se ve en la figura 15-5.

Paso 4: Ejecutar el experimento

Para ejecutar el experimento, el producto se prueba bajo las diversas condiciones de tratamiento descritas por cada una de las filas del plan experimental. Hacer aleatoria la secuencia de las ejecuciones experimentales garantiza que cualquier tendencia sistemática durante la realización del experimento no está correlacionada con los cambios sistemáticos en los niveles de los factores. Por ejemplo, si los experimentos del plan L8 no se hacen aleatorios y las condiciones de prueba se acumulan con el tiempo, este efecto puede atribuirse incorrectamente al factor A porque esta columna cambia la mitad en el experimento. Para algunos experimentos, cambiar ciertos factores puede ser tan difícil que todos los intentos en cada nivel de ese factor se ejecutan juntos y sólo se puede alcanzar una aleatorización parcial. Siempre que sea práctico háganse aleatorios los intentos y, cuando no sea posible, valídense los resultados con una ejecución de confirmación. (Vea el paso 6.)

En el experimento del cinturón de seguridad, cada una de las ocho combinaciones de factor del diseño L8 se probó bajo las dos condiciones de ruido compuesto. Los 16 puntos de datos que contienen los datos del ángulo de la espalda se muestran en la figura 15-6 en las columnas tituladas N– y N+.

Paso 5: Ejecutar el análisis

Hay muchas formas de analizar los datos experimentales. Para todos, excepto el análisis más elemental, el equipo se beneficia de consultar a un experto en diseño de experimentos (DOE) o por consultar un buen libro de análisis estadístico y diseño experimental. El método analítico básico se resume aquí.

Cálculo de la función objetivo

El equipo ya habrá diseñado las funciones objetivo para el experimento y generalmente tendrá un objetivo relacionado con el desempeño medio y la varianza en desempeño. A veces media

	A	B	C	D	E	F	G	N−	N+	Prom.	Interv.
1	1	1	1	1	1	1	1	0.3403	0.2915	0.3159	0.0488
2	1	1	1	2	2	2	2	0.4608	0.3984	0.4296	0.0624
3	1	2	2	1	1	2	2	0.3682	0.3627	0.3655	0.0055
4	1	2	2	2	2	1	1	0.2961	0.2647	0.2804	0.0314
5	2	1	2	1	2	1	2	0.4450	0.4398	0.4424	0.0052
6	2	1	2	2	1	2	1	0.3517	0.3538	0.3528	0.0021
7	2	2	1	1	2	2	1	0.3758	0.3580	0.3669	0.0178
8	2	2	1	2	1	1	2	0.4504	0.4076	0.4290	0.0428

FIGURA 15-6 Datos obtenidos del experimento del cinturón de seguridad.

y varianza se combinarán y expresarán como un solo objetivo en la forma de una relación señal a ruido. Los valores de la función objetivo se pueden calcular para cada fila del experimento. Para el experimento del cinturón de seguridad, las columnas del lado derecho de la tabla de la figura 15-6 muestran los valores calculados de la función objetivo (promedio de ángulo de la espalda e intervalo de ángulos de la espalda) para cada fila. Recuerde que éstos son objetivos que se han de minimizar.

Cálculo de efectos del factor por análisis de medias

El análisis más fácil de realizar dará simplemente el efecto principal de cada factor asignado a una columna del experimento. Estos efectos principales se denominan *efectos del factor*. El *análisis de medias* comprende simplemente promediar todas las funciones objetivo calculadas para cada nivel de factor. En el ejemplo L8 DOE, el efecto del nivel A1 de factor (factor A al nivel 1) es el promedio de los intentos 1, 2, 3 y 4. Del mismo modo, el efecto del nivel de factor E2 es el promedio de los intentos 2, 4, 5 y 7. Los resultados de un análisis de medias se muestran de manera convencional en gráficas de efectos de factor.

La figura 15-7 presenta las gráficas de efectos del factor para el ejemplo del cinturón de seguridad. Se hace la gráfica de estos efectos para cada una de las funciones objetivo. La figura 15-7*a*) es una grafica del *desempeño promedio* en cada nivel del factor (la primera función objetivo). Esta gráfica muestra los niveles del factor que se pueden usar para subir o bajar el desempeño medio. Recuerde que el ángulo de la espalda a su máximo ha de minimizarse y nótese que la gráfica sugiere que los niveles del factor [A1, B2, C2, E1, F1 y G1] minimizarán la métrica del promedio de ángulo de la espalda. (El factor D parece no tener efecto en el desempeño medio.) No obstante, estos niveles no necesariamente lograrán desempeño robusto. La figura 15-7*b*) está basada en el *intervalo de desempeño* en cada nivel de factor (la segunda función objetivo). Esta gráfica sugiere que los niveles [A2, B2, C2, D1, E1, F2 y G1] minimizarán el intervalo del ángulo de la espalda al valor máximo.

Taguchi recomienda que se haga la gráfica de la relación señal a ruido para cada nivel de factor a fin de identificar puntos de referencia. Como la relación señal a ruido incluye el desempeño medio en el numerador y la varianza en el denominador, representa una combinación de estos dos objetivos o un acuerdo entre ellos. En lugar de hacer de manera específica la gráfica de la relación señal a ruido, muchos ingenieros y expertos en estadística prefieren simplemente interpretar los dos objetivos juntos, dando más control sobre el acuerdo. Para hacerlo así, las gráficas de efectos del factor que se ven en la figura 15-7 se pueden comparar para seleccionar un punto de referencia robusto en el siguiente paso.

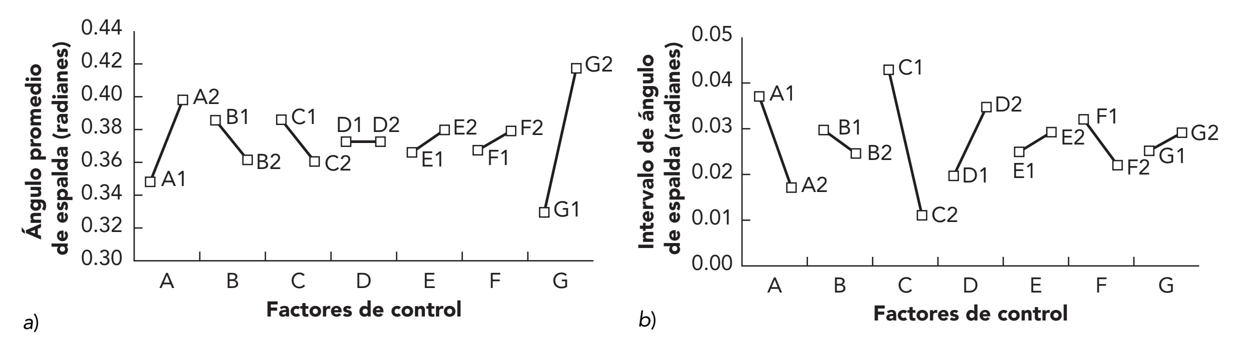


FIGURA 15-7 Gráficas de efectos del factor para el experimento del cinturón de seguridad.

Paso 6: Seleccionar y confirmar puntos de referencia de factor

El análisis de medias y las gráficas de efectos de factor ayudan al equipo a determinar qué factores tienen un fuerte efecto sobre el desempeño medio y varianza, y por lo tanto cómo lograr un desempeño robusto. Estas gráficas ayudan a identificar qué factores son mejores para reducir la varianza del producto (factores de robustez) y cuáles factores se pueden usar para mejorar el desempeño (factores de medición a escala). Al escoger puntos de referencia con base en estas ideas, el equipo debe estar en aptitud de mejorar la robustez general del producto.

Por ejemplo, considere los efectos del factor A en el promedio e intervalo del ángulo de espalda del experimento. Las gráficas de la figura 15-7 muestran que el nivel A1 minimizaría el ángulo de espalda, pero el nivel A2 minimizaría el intervalo del ángulo de espalda, representando un acuerdo entre desempeño y robustez. Un acuerdo similar es evidente en el factor F. No obstante, para los factores B, C, D, E y G, no hay tal acuerdo y los niveles B2, C2, D1, E1 y G1 minimizan ambos objetivos.

Con el uso de los factores B, C, D, E y G para alcanzar la robustez deseada y los factores A y F para aumentar el desempeño, los ingenieros de Ford seleccionaron el punto de referencia [A1, B2, C2, D1, E1, F1 y G1]. Como suele ser el caso, el punto de referencia escogido no es una de las ocho filas de matriz ortogonal probadas en el experimento. Dado que este punto de referencia nunca se ha probado, debe usarse una ejecución de confirmación para asegurarse de que el desempeño robusto esperado se haya alcanzado.

Paso 7: Reflexionar y repetir

Una ronda de experimentos puede ser suficiente para identificar en forma apropiada puntos de referencia robustos. No obstante, a veces conviene realizar más optimización del desempeño del producto, y esto puede requerir varias rondas adicionales de experimentación.

En la experimentación y prueba subsiguientes el equipo puede seleccionar:

- Reconsiderar los puntos de referencia escogidos para factores que muestren un acuerdo de desempeño contra robustez.
- Explorar interacciones entre algunos de los factores para mejorar más el desempeño.
- Afinar los puntos de referencia de parámetro usando valores entre los niveles probados o fuera de este intervalo.
- Investigar otros factores de ruido y/o control que no se incluyeron en el experimento inicial.

Al igual que con todas las actividades de desarrollo, el equipo debe tomar algún tiempo para reflexionar sobre el proceso del diseño de experimentos (DOE) y el resultado del diseño robusto. ¿Realizamos los experimentos correctos? ¿Alcanzamos un resultado aceptable? ¿Podría ser mejor? ¿Debemos repetir el proceso para mejorar aún más el desempeño/robustez?

Advertencias

El diseño de experimentos es un campo de experiencia bien establecido. Este capítulo resume sólo un método básico para estimular el uso de experimentación en el diseño de productos

para lograr un desempeño más robusto de un producto. La mayoría de los equipos de desarrollo de productos debe incluir miembros con capacitación en el DOE o tener acceso a ingenieros y/o expertos en estadística especializados en diseño y análisis de experimentos.

Obviamente, muchas suposiciones sirven de base al tipo de análisis empleado en el DOE. Una suposición básica hecha al interpretar análisis de medias es que los efectos del factor son independientes, sin interacciones en los factores. En realidad, casi todos los sistemas reales exhiben muchas interacciones, pero éstas suelen ser más pequeñas que los efectos principales. La verificación de esta suposición es otro motivo para ejecutar experimentos de confirmación en los puntos de referencia seleccionados.

Si es necesario, los experimentos se pueden diseñar para probar de manera específica efectos de interacción. Este tipo de experimento está fuera del alcance de este capítulo. Los textos que se refieren al DOE por lo general dan varias formas para explorar interacciones en los factores, incluyendo lo siguiente:

- Asignar interacciones específicas a explorar en ciertas columnas de la matriz ortogonal (en lugar de usar la columna para un factor de control).
- Ejecutar un diseño factorial fraccional más grande.
- Usar un plan experimental adaptable de uno a la vez (Frey *et al.*, 2003).

Existen numerosas técnicas gráficas y analíticas avanzadas para asistir en la interpretación de datos experimentales. El análisis de varianza (ANOVA) provee una forma de evaluar la significación de los resultados de efectos del factor en vista del error experimental observado en los datos. ANOVA toma en cuenta el número de observaciones hechas en cada uno de los grados de libertad del experimento y la escala de los resultados para determinar si cada efecto es importante desde el punto de vista estadístico. Esto ayuda a determinar a qué grado deben estar basadas las decisiones detalladas de diseño en los resultados experimentales. No obstante, ANOVA hace muchas más suposiciones y puede ser difícil de establecerse en forma apropiada, de modo que también está fuera del alcance de este capítulo. Consulte un texto DOE (Ross, 1996; Montgomery, 2007) o consulte a un experto en diseño de experimentos para que le ayude con la ANOVA.

Resumen

Un diseño robusto es un conjunto de métodos de diseño de ingeniería empleado para crear productos y procesos robustos.

- Un producto (o proceso) robusto es aquel que funciona en forma apropiada incluso en presencia de efectos de ruido. Los ruidos se deben a muchas clases de variación no controlada que pueden afectar al desempeño, por ejemplo variaciones en manufactura, condiciones de operación y deterioro del producto.
- Sugerimos un método para el desarrollo de productos robustos basado en diseño de experimentos (DOE). Este proceso de siete pasos para diseño robusto es:

    1. Identificar factores de control, factores de ruido y métricas de desempeño.
    2. Formular una función objetivo.
    3. Desarrollar el plan experimental.
    4. Ejecutar el experimento.

5. Realizar el análisis.
6. Seleccionar y confirmar puntos de referencia de factor.
7. Meditar y repetir.

- Los planes experimentales de matriz ortogonal son un método muy eficiente para explorar los efectos principales de cada factor escogido para el experimento.
- Para alcanzar un desempeño robusto, utilice las funciones objetivo al capturar desempeño medio debido a cada factor de control y varianza de desempeño debida a factores de ruido.
- El análisis de medias y las gráficas de efectos de factor facilitan la selección de puntos de referencia robustos de parámetro.
- Debido a que un DOE exitoso tiene muchos matices, la mayoría de los equipos que aplican estos métodos se beneficiarán con la ayuda de un experto en diseño de experimentos.

Referencias y bibliografía

Existen numerosos recursos actuales en internet **www.ulrich-eppinger.net**

Phadke da numerosos ejemplos y consejos prácticos sobre la aplicación del DOE. Ross destaca ideas obtenidas por medio del análisis de ANOVA. Los métodos de Taguchi para diseño experimental y detalles acerca de planes de experimentación con matrices ortogonales se explican en varios textos, incluyendo el texto clásico de Taguchi en dos volúmenes traducido al inglés.

Phadke, Madhav S., *Quality Engineering Using Robust Design*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989.

Ross, Phillip J., *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, McGraw-Hill, Nueva York, 1996.

Taguchi, Genichi, *Introduction to Quality Engineering: Designing Quality into Products and Processes*, Asian Productivity Organization (trad. y pub.), Tokio, 1986.

Taguchi, Genichi, *System of Experimental Design: Engineering Methods to Optimize Quality and Minimize Costs*, dos volúmenes, Louise Watanabe Tung (trad.), White Plains, NY, 1987.

Grove y Davis presentan una explicación completa de técnicas de diseño experimental en ingeniería, incluyendo planeación, ejecución y análisis de experimentos. Un análisis diferente del experimento sobre cinturones de seguridad de Ford está incluido en este texto, así como muchas aplicaciones automotrices de diseño robusto.

Grove, Daniel M., y Timothy P. Davis, *Engineering, Quality and Experimental Design*, Addison Wesley Longman, Edinburgh Gate, UK, 1992.

Varios textos excelentes contienen explicaciones detalladas del uso de métodos estadísticos, planes experimentales factoriales fraccionales, interpretaciones analíticas y gráficas, y métodos superficiales de respuesta.

Box, George E. P., J. Stuart Hunter, y William G. Hunter, *Statistics for Experimenters: An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building*, John Wiley e Hijos, Nueva York, 1978.

Box, George E. P., y Norman R. Draper, *Empirical Model Building and Response Surfaces*, John Wiley e HIjos, Nueva York, 1987.

Montgomery, Douglas C., *Design and Analysis of Experiments*, sexta edición, John Wiley e Hijos, Nueva York, 2007.

Recientes investigaciones tienen renovado interés en planes DOE uno a la vez. Un método adaptable de un factor a la vez ha demostrado que da una mejor optimización de desempeño que el correspondiente diseño de matriz ortogonal para sistemas donde los efectos de interacción son más importantes que los efectos del ruido y error.

Frey, Daniel D., Fredrik Engelhardt, y Edward M. Greitzer, "A Role for One-Factor-at-a-Time Experimentation in Parameter Design", *Research in Engineering Design*, 2003, vol. 14, núm. 2, pp. 65-74.

El DOE se puede usar en muchos aspectos del desarrollo de un producto. Almquist y Wyner explican la forma en que experimentos cuidadosamente planeados son eficaces para evaluar y afinar parámetros de campañas de ventas.

Almquist, Eric, y Gordon Wyner, "Boost Your Marketing ROI with Experimental Design", *Harvard Business Review*, vol. 79, núm. 9, octubre de 2001, pp. 135-141.

Ejercicios

1. Diseñe un experimento para determinar un proceso robusto para hacer café.

2. Explique por qué los planes de matriz ortogonal y factorial de ¼ fraccional que se ven en la figura 15-4 están balanceados.

3. Formule una apropiada relación señal a ruido para el experimento del cinturón de seguridad. Analice los datos experimentales usando esta métrica. ¿La relación señal a ruido es una función objetivo útil en este caso? ¿Por qué sí o por qué no?

Preguntas de análisis

1. Si el lector puede permitirse un experimento más grande (con más corridas), ¿cómo podría utilizar de la mejor manera las corridas adicionales?

2. ¿Cuándo escogería no hacer aleatorio el orden de los experimentos? ¿Cómo se cuidaría contra el sesgo?

3. Explique la importancia del equilibrio en un plan experimental.

Apéndice

Matrices ortogonales

Los textos de diseño en experimentos (DOE) contienen varios planes de matrices ortogonales para experimentos. Las matrices más sencillas son para experimentos de factores de dos y tres niveles. Con el uso de técnicas avanzadas, los planes DOE también se pueden crear para experimentos factoriales mixtos de dos, tres y cuatro niveles y muchas otras situaciones. Este apéndice presenta algunas de las matrices ortogonales básicas del texto de Taguchi *Introduction to Quality Engineering* (1986). Estos planes se muestran en formato de fila/columna, con las asignaciones de nivel de factor en las columnas y las corridas experimentales en las filas. Los números 1, 2 y 3 en cada celda indican los niveles de factor. (Alternativamente, los niveles de factor se pueden marcar como − o + para factores de dos niveles o −, 0 y + para tres niveles.) Recuerde que las matrices ortogonales reciben el nombre según el número de filas en el diseño. Aquí están incluidas las matrices de dos niveles L4, L8 y L16 y matrices L9 y L27 de tres niveles. También se ve un plan DOE que utiliza la matriz interior L8 para siete factores de control y la matriz exterior L4 para tres factores de ruido. Este plan permite el análisis de los efectos de los tres factores de ruido.

Matrices ortogonales de dos niveles

L4: 3 factores en 2 niveles cada uno

	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

L8: 7 factores en 2 niveles cada uno

	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

L16: 15 factores en 2 niveles cada uno

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1

Matrices ortogonales de tres niveles

L9: 4 factores en 3 niveles cada uno

	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

L27: 13 factores en 3 niveles cada uno

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

Matrices combinadas interior y exterior

L8 × L4: 7 factores de control y 3 factores de ruido en 2 niveles cada uno

								1	**1**	**2**	**2**	**Na**
								1	**2**	**1**	**2**	**Nb**
	A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**1**	**2**	**2**	**1**	**Nc**
1	1	1	1	1	1	1	1					
2	1	1	1	2	2	2	2					
3	1	2	2	1	1	2	2					
4	1	2	2	2	2	1	1					
5	2	1	2	1	2	1	2					
6	2	1	2	2	1	2	1					
7	2	2	1	1	2	2	1					
8	2	2	1	2	1	1	2					

CAPÍTULO DIECISÉIS

Patentes y propiedad intelectual



FIGURA 16-1 Funda aislante acanalada para bebidas calientes, por David W. Coffin sénior (Patente 5,205,473 de Estados Unidos).

David Coffin, inventor independiente, desarrolló un concepto y prototipo de producto de una funda aislante para tomar con comodidad de un vaso con bebida caliente (figura 16-1). La oportunidad del producto apareció en la década de 1980 después que numerosos vendedores de alimentos habían sustituido los vasos de espuma de poliestireno para bebidas calientes por vasos de papel. El inventor estaba interesado en la comercialización y/o licencia de su invento y buscó la protección de la propiedad intelectual de su invención. Este capítulo contiene una revisión de la propiedad intelectual en el contexto del desarrollo de productos y contiene una guía específica para elaborar una descripción de invención o solicitud provisional de patente.

Dentro del contexto del desarrollo de un producto, el término *propiedad intelectual* se refiere a ideas, conceptos, nombres, diseños y procesos que legalmente se protegen y están asociados con un producto de nueva creación. La propiedad intelectual puede ser una de las propiedades más valiosas de las empresas. A diferencia de una propiedad física, la propiedad intelectual no puede asegurarse con cerradura y llave para impedir una transferencia no deseada. Por lo tanto, se han ideado mecanismos legales para proteger los derechos de propiedad intelectual a sus legítimos dueños. Estos mecanismos tienen la intención de dar un incentivo y recompensa a quienes crean nuevas invenciones útiles, y al mismo tiempo estimulan la divulgación de información para beneficio de la sociedad a largo plazo.

¿Qué es la propiedad intelectual?

Cuatro tipos de propiedad intelectual son relevantes para el diseño y desarrollo de un producto. La figura 16-2 muestra una taxonomía de tipos de propiedad intelectual. Aun cuando algunos campos de actividad se traslapan y los cuatro tipos de propiedad intelectual pueden estar presentes en un solo producto, una invención específica por lo general se ubica en una de estas categorías.

- ***Patente:*** Una patente es un monopolio temporal otorgado por un gobierno a un inventor para excluir a otros de usar, hacer o vender una invención. En Estados Unidos, una patente expira 20 años después de la fecha en que fue solicitada. Casi todo el resto de este capítulo se enfoca en patentes.
- ***Marca registrada:*** Una marca registrada es un derecho exclusivo otorgado por un gobierno a un propietario de marca registrada para usar un nombre o símbolo específicos en asociación con una clase de productos o servicios. En el contexto del desarrollo de un producto, las marcas registradas suelen ser nombres de marcas o productos. Por ejemplo, *JavaJacket* es una marca registrada para un portavasos aislante, y otras empresas que no sean Java Jacket, Inc., no pueden usar sin autorización la palabra JavaJacket para referirse a sus propios productos de portavasos. En Estados Unidos es posible registrar una marca, aunque no es estrictamente necesario para preservar los derechos de esa marca. En casi todos los demás países, los derechos de marca registrada se obtienen por medio de registro.
- ***Secreto comercial:*** Un secreto comercial es información que ofrece a su propietario una ventaja competitiva a su comercio o negocio y la mantiene en secreto. Un secreto comercial no es un derecho conferido por un gobierno, es más bien el cuidado que tiene una organización para evitar que la información que es de su propiedad se divulgue. Quizás el secreto comercial más famoso es la fórmula del refresco Coca-Cola.
- ***Derecho de autor:*** Es un derecho exclusivo otorgado por un gobierno para copiar y distribuir una obra original de expresión, ya sea literaria, gráfica, musical, artística, de entre-

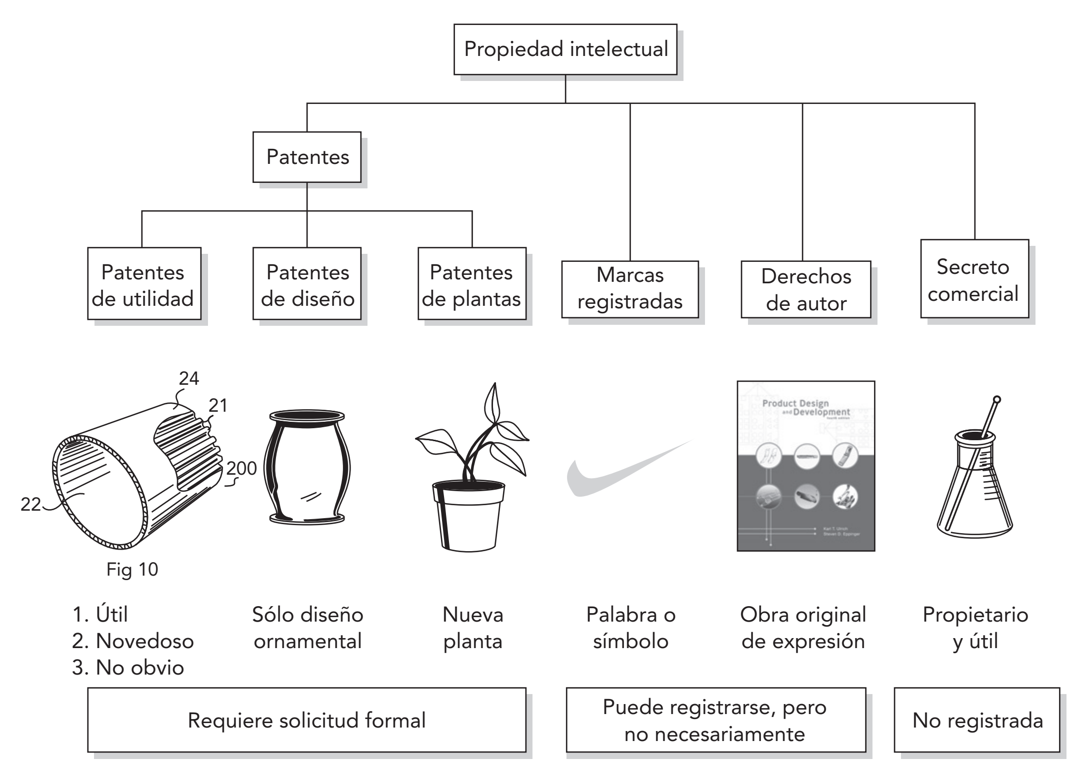


FIGURA 16-2 Taxonomía de tipos de propiedad intelectual relevante al diseño y desarrollo de un producto.

tenimiento o software. El registro de un derecho de autor es posible pero no necesario. Un derecho de autor entra en vigor con la primera expresión tangible de la obra y dura hasta 95 años.

Este capítulo se enfoca en patentes. El apéndice A de este capítulo explica brevemente las marcas registradas. No dedicamos aquí gran atención a los derechos de autor o a los secretos comerciales, pero varias obras de referencia a otras fuentes aparecen al final del capítulo.

Repaso de patentes

Para casi todos los productos diseñados, dos tipos básicos de patentes son relevantes: *patentes de diseño* y *patentes de utilidad*. (Un tercer tipo de patente cubre plantas.) Las patentes de diseño dan el derecho legal de excluir a otros de producir y vender un producto con diseño ornamental idéntico al descrito en la patente de diseño. Una patente de diseño puede verse como un "derecho de autor" por el diseño ornamental del producto. Como las patentes de diseño deben estar limitadas a un diseño ornamental, para casi todos los productos diseñados las patentes de diseño son de valor muy escaso. Por esta razón, el capítulo se enfoca más sobre patentes de utilidad.

La ley de patentes en casi todo el mundo evolucionó de la ley inglesa y por ello las leyes de patentes en diferentes países son un poco semejantes. Este capítulo emplea la ley de

Estados Unidos como punto de referencia, y por este motivo los lectores que tengan la intención de obtener patentes en otros países deben investigar cuidadosamente las leyes de esos países.

Patentes de utilidad

Las leyes de Estados Unidos permiten patentar una invención que se relacione a un nuevo proceso, máquina, artículo de manufactura, composición de materia o una nueva y útil mejora de alguna de estas cosas. Afortunadamente, estas categorías incluyen casi todas las invenciones materializadas por nuevos productos. Nótese que las invenciones expresadas en software a veces son patentadas, pero por lo general la invención se describe como un proceso o máquina. La figura 16-3 muestra la primera página de una patente para la funda aislante acanalada inventada por Coffin.

Además, las leyes exigen que las invenciones patentadas sean:

- ***Útiles:*** La invención patentada debe ser útil para alguien en algún contexto.
- ***Novedosas:*** Las invenciones novedosas son aquellas que no son conocidas públicamente y por lo tanto no son evidentes en productos existentes, publicaciones o patentes anteriores. La definición de novedad se relaciona con divulgaciones de la invención real que también ha de patentarse. En Estados Unidos, una invención a patentarse no debe haberse revelado al público más de un año antes de solicitar la patente.
- ***No obvias:*** La ley de patentes define como invenciones obvias aquellas que claramente serían evidentes a quienes tengan “capacidad ordinaria en el arte” y que enfrentan el mismo problema que el inventor.

La utilidad raras veces es una barrera para obtener una patente, pero los requisitos de que una patente sea novedosa y no obvia son las barreras más comunes para obtener una patente.

Alrededor de dos tercios de solicitudes de patentes presentadas resultan en patentes expedidas, pero una patente expedida no es necesariamente *válida.* Una patente puede ser recusada por un competidor ante un juzgado gubernamental en alguna fecha futura. La validez de una patente está determinada, entre otros factores, por una adecuada descripción en la patente y la novedad de la invención con respecto al arte previo. Una pequeña fracción de patentes, unos pocos cientos al año en Estados Unidos, son recusadas en juzgados; de las patentes recusadas en años recientes, sólo un poco más de la mitad se han encontrado válidas.

Un inventor asociado con una patente es la persona que en realidad creó la invención en forma individual o en colaboración con otros inventores. En algunos casos el inventor es también el dueño de la propiedad intelectual. No obstante, en la mayor parte de los casos, la patente se *asigna* a alguna otra entidad, que es, por lo general, el empleador del inventor. Los derechos reales de propiedad intelectual asociados con una patente pertenecen al propietario de la patente y no necesariamente al inventor. (El apéndice B de este capítulo contiene algunos consejos a inventores individuales interesados en comercializar sus invenciones.)

El propietario de una patente tiene derecho a excluir a otros de usar, hacer, vender o importar un producto que él ha inventado. Éste es un *derecho ofensivo*, que exige que el propietario de la patente entable juicio contra el infractor. También hay *derechos defensivos* asociados con patentes. Cualquier invención descrita en una patente, sea o no parte de la invención reclamada, está considerada por el sistema legal como públicamente conocida y forma parte del *estado del arte.* Esta descripción es un acto defensivo que impide a un competidor patentar la invención divulgada.



US005205473A

United States Patent [19]
Coffin, Sr.

[11] Patent Number: 5,205,473
[45] Date of Patent: Apr. 27, 1993

[54] RECYCLABLE CORRUGATED BEVERAGE CONTAINER AND HOLDER

[75] Inventor: David W. Coffin, Sr., Fayetteville, N.Y.

[73] Assignee: Design By Us Company, Philadelphia, Pa.

[21] Appl. No.: 854,425

[22] Filed: Mar. 19, 1992

[51] Int. Cl.. . . . . .B65D 3/28
[52] U.S. CI. . . . . .229/1.5 B; 206/813; 220/441; 220/DIG. 30; 229/1.5 H; 229/DIG. 2; 493/296;493/907
[38] Field of Search . . . . .229/1.5 B, 1.3 H, 4.5, 229/DIG. 2; 220/441, 671, 737–739, DIG. 30; 493/287, 296, 907, 908; 209/8, 47, 215; 206/813

[56] References Cited

U.S. PATENT DOCUMENTS

1,732,322	10/1929	Wilson et al.	220/DIG. 30
1,771,765	7/1930	Benson	229/4.5
2,266,828	12/1941	Sykes	229/1.5 B
2,300,473	11/1942	Winkle	229/4.5
2,503,815	3/1950	Harman	
2,617,549	11/1952	Egger	
2,641,402	6/1953	Bruun	229/4.5
2,661,889	12/1953	Phinney	229/4.5
2,969,901	1/1961	Behrens	229/1.3 B
3,237,834	3/1966	Davis et al.	229/1.3 B
3,779,157	12/1973	Ross, Jr. et al.	53/527
3,785,254	1/1974	Mann	
3,890,762	6/1975	Ernst et al.	
3,908,523	9/1975	Shikays	229/1.5 B
4,080,880	3/1978	Shikay	493/296
4,146,660	3/1979	Hall et al.	
4,176,034	11/1979	Kelley	209/8
5,009,326	4/1991	Reaves et al.	
5,092,485	3/1992	Lee	229/1.3 B

OTHER PUBLICATIONS

"The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology", John Wiley & Sons, pp. 66-69, 1986.

***Primary Examiner*—Gary E. Elkins**
***Attorney, Agent, or Firm*—Synnestvedt & Lochner**

[57] ABSTRACT

Corrugated beverage containers and holders are which employ recyclable materials, but provide fluting structures for containing insulating air. These products are easy to hold and have a lesser impact on the environment than polystyrene containers.

18 Claims, 8 Drawing Sheets

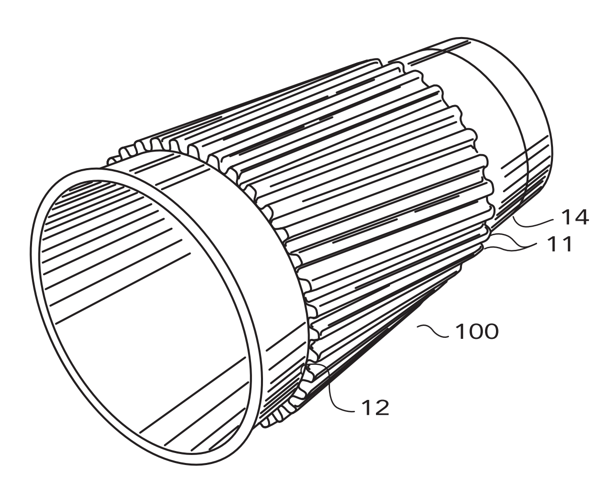


FIGURA 16-3 Primera página de la patente 5,205,473 de Estados Unidos.

Elaboración de una descripción

Este capítulo se enfoca en un proceso para elaborar una *descripción de la invención*, en esencia, la descripción detallada de una invención. Esta descripción tomará la forma de una solicitud de patente, que puede servir como solicitud provisional de patente y con relativamente poco trabajo adicional podría ser una solicitud regular de patente. Es posible, incluso típico,

que un apoderado o certificador de patentes haga buena parte del trabajo descrito en el capítulo. Sin embargo, pensamos que si el inventor bosqueja una exposición detallada, ésa será la mejor forma de comunicar su conocimiento, aun cuando casi siempre el apoderado o certificador de patentes revisará la exposición para elaborar la solicitud formal de patente. Aunque muchos lectores podrán completar una solicitud provisional de patente a partir de la directriz aquí dada, este capítulo no es sustituto de una asesoría legal competente. Los inventores que busquen oportunidades comerciales serias deben consultar a un certificador de patentes después de elaborar su descripción.

Los pasos del proceso son:

1. Formular una estrategia y plan.
2. Estudiar invenciones previas.
3. Bosquejar reivindicaciones.
4. Escribir la descripción de la invención.
5. Refinar reivindicaciones.
6. Dar seguimiento a solicitud.
7. Reflexionar sobre los resultados y el proceso.

Paso 1: Formular una estrategia y plan

Al formular una estrategia y plan de patente, el equipo de desarrollo de un producto debe decidir sobre la programación de la presentación de una solicitud de patente, el tipo de solicitud a presentar y el propósito de la solicitud.

Programación de solicitudes de patente

Legalmente, una solicitud de patente de Estados Unidos se debe presentar antes de que transcurra un año a partir de la primera descripción pública de la invención. En gran parte del resto del mundo, una patente se debe presentar antes que cualquier descripción pública o antes de un año después de presentar una solicitud en Estados Unidos, siempre que la solicitud en Estados Unidos se presente antes de la descripción pública. En la mayor parte de los casos, la descripción pública es una descripción de la invención a una persona o grupo de personas que no están obligadas a mantener confidencial la invención. Ejemplos de esas descripciones incluyen la publicación de detalles de invención en una revista o periódico, presentación de un producto en una feria comercial, la exhibición de la invención en una página electrónica accesible al público o probar la comercialización de un producto. (La mayoría de expertos convienen en que la presentación de una invención en clase ante los estudiantes no es una descripción pública, toda vez que los miembros de la clase hayan acordado preservar la confidencialidad de la invención y siempre que alguien del público general no esté presente.) Encarecidamente recomendamos que los inventores presenten solicitudes de patente antes de cualquier descripción pública; esto asegura que la opción para presentar una patente internacional se preserve durante un año. Por fortuna, una solicitud provisional de patente puede presentarse a un costo relativamente bajo para preservar estos derechos.

Aun cuando recomendamos que la presentación sea antes que la descripción pública, el inventor por lo general se beneficia al posponer la aplicación hasta poco antes de esa descripción. La ventaja principal de esperar mientras sea posible es que el inventor tiene tanto conocimiento como es posible acerca de la invención y su comercialización. Con mucha frecuen-

cia lo que el inventor piensa que son las características clave de una invención en la primera etapa del proceso de innovación resulta ser menos importante que los refinamientos desarrollados después en el proceso de innovación. Al esperar, el inventor puede asegurar que los elementos más importantes de la invención sean captados en la solicitud de patente.

El sistema de patentes de Estados Unidos otorga prioridad entre solicitudes de patente de la competencia con base en la fecha de la invención, mientras que los sistemas de patentes en gran parte del mundo otorgan prioridad con base en la fecha de la solicitud de patente. Por lo tanto, en Estados Unidos, los inventores deben documentar con todo cuidado la fecha de sus invenciones. Esto se hace mejor al describir una invención en un cuaderno de notas empastado y luego hacer que un testigo firme y ponga fecha en cada página.

Tipo de solicitud

Un equipo se enfrenta a dos opciones básicas acerca del tipo de solicitud de patente a seguir. Primero, el equipo debe decidir si presentar una *solicitud regular de patente* o una *solicitud provisional de patente*. En segundo término, el equipo debe decidir si busca patentes nacionales y/o extranjeras.

Una solicitud regular de patente era la única opción disponible para un inventor en Estados Unidos hasta que se hicieron cambios importantes a la ley de patentes en 1995. Bajo la actual ley de patentes estadounidense, un inventor puede presentar una solicitud provisional de patente. Una solicitud provisional de patente sólo necesita describir en la forma más completa posible la invención; no necesita contener reivindicaciones o cumplir con la estructura formal y lenguaje de una solicitud regular de patente. La principal ventaja de una solicitud provisional de patente es que requiere menos costo y trabajo para elaborarla y presentarla que una solicitud regular de patente, pero preserva todas las opciones para buscar más presentaciones de solicitudes de patente durante un periodo de un año. Una vez presentada una solicitud provisional de patente, una empresa puede etiquetar sus productos con la leyenda “patente pendiente”, y retiene el derecho de presentar una solicitud extranjera de patente y/o una solicitud regular de patente. La única desventaja fundamental de una solicitud provisional de patente es que pospone la expedición eventual de una patente hasta en un año, en vista de que el proceso de examinar una solicitud de patente no se inicia sino hasta que se presente una solicitud regular de patente. Otra posible desventaja es que la naturaleza preliminar de una solicitud provisional de patente puede originar que se tenga menos cuidado en la elaboración de la descripción de la invención, lo que no se haría con una solicitud regular. La descripción de la invención debe ser completa en una solicitud provisional de patente y la solicitud regular de patente que sigue no puede contener características que no se describieran en la solicitud provisional.

La presentación de patentes internacionalmente es costosa y un tanto compleja, por lo cual el equipo debe consultar a un profesional de patentes acerca de la estrategia internacional de patentes, dado que la ley de patentes varía un poco de un país a otro. Para obtener derechos extranjeros de patente, debe presentarse eventualmente una solicitud en cada país en el que se busque una patente. (La Comunidad Europea, sin embargo, actúa como una sola entidad con respecto a la presentación de una patente.) Las solicitudes extranjeras pueden ser costosas, hasta 15 000 dólares estadounidenses por país por costos de presentación, costos de traducción y honorarios del agente de patentes.

El gasto de presentación para patentes extranjeras puede ser postergado, generalmente por 30 meses, al presentar una solicitud de *Tratado de cooperación de patentes* (PCT, *Patent Coo-*

peration Treaty). Una solicitud PCT se presenta en un país (por ejemplo Estados Unidos) pero se designa como solicitud PCT, que es el comienzo de un proceso por el cual se pueden buscar patentes extranjeras. Una solicitud PCT cuesta sólo un poco más que una solicitud regular de patente en costos de presentación, pero hay que tomar en cuenta que existe una importante demora antes de que los costos de aplicación deban pagarse en los países en donde se busquen patentes extranjeras.

La solicitud provisional de patente y la solicitud PCT juntas son un vehículo para que una pequeña empresa o un inventor individual preserven la mayor parte de derechos de patente con un costo relativamente bajo. Una estrategia típica es presentar una solicitud provisional de patente antes de cualquier divulgación de la invención; a continuación, sin dejar pasar más de un año, presentar una solicitud PCT en la oficina de patentes de Estados Unidos; en seguida, cuando se vea forzada a actuar o abandonar la solicitud en algún punto en el futuro (por lo general a un año o más), buscar solicitudes extranjeras reales. Esta estrategia permite una demora de dos o más años antes que deban pagarse las cuotas altas, que son las legales y las de solicitud. Durante este periodo, el equipo puede evaluar el verdadero potencial comercial de los productos que materializan la invención y puede estimar el valor de protección de patente más extensa.

Propósito de solicitud

El equipo debe evaluar el diseño general del producto y decidir cuáles elementos expresan invenciones que tengan probabilidad de ser patentadas. Típicamente, el proceso de revisar el diseño del producto resultará en una lista de elementos que el equipo considera como novedosos y no obvios. El equipo debe enfocarse en los elementos que presenten barreras importantes a la competencia, que por lo común son los elementos que en la opinión del equipo representan una mejora considerable sobre los métodos conocidos públicamente de resolver problemas semejantes.

Es frecuente que los productos complejos incorporen varias invenciones. Por ejemplo, una impresora puede contener novedosos métodos de procesamiento de señales y técnicas novedosas de manejo de papel. A veces estas invenciones caen en *clases* muy diferentes dentro del sistema de patentes. En consecuencia, el equipo de desarrollo de un producto puede considerar necesario presentar múltiples solicitudes que correspondan a las distintas clases de invención. Para productos sencillos o para productos que incorporen un solo tipo de invención, una sola solicitud de patente suele ser suficiente. La decisión acerca de si dividir una solicitud en múltiples partes es compleja y se hace mejor en consulta con un abogado de patentes. No obstante, todos los derechos de propiedad intelectual se preservan incluso si una solicitud de patente presentada contiene múltiples clases de invenciones. En tales casos, la oficina de patentes informará al inventor que la solicitud debe ser dividida.

Cuando se defina el propósito de la patente, el equipo debe también decidir quiénes son los inventores. Un inventor es una persona que contribuyó de manera importante a la creación de la invención. La definición de un inventor para los fines de la ley de patentes es subjetiva. Por ejemplo, un técnico que sólo realizó experimentos no sería un inventor, pero el técnico que realizó experimentos y luego ideó una solución a un problema observado con el equipo es el inventor. No hay límite para el número de inventores nombrados en una solicitud de patente. Pensamos que el desarrollo de un producto y la invención son con mucha frecuencia trabajo de equipo y que muchos miembros del equipo que participaron en la generación de un concepto y las subsiguientes actividades de diseño podrían ser considerados inventores. No citar el nombre del inventor puede resultar en que una patente sea declarada inválida.

Paso 2: Estudiar invenciones previas

Hay tres razones para estudiar invenciones previas, el llamado *estado del arte*. Primero, al estudiar la literatura de patentes previas, los equipos de diseño pueden darse cuenta de si una invención puede infringir patentes existentes no expiradas. Aun cuando no hay barrera legal para patentar un invento que infrinja una patente existente, si alguien que no tenga licencia de manufactura vende o usa un producto que infrinja una patente existente, el propietario de la patente puede demandarlo por daños. En segundo término, al estudiar el arte previo los inventores pueden darse una idea de qué tan similar es su invención a otras invenciones previas y por lo tanto qué tan probable es que les sea concedida una patente general. En tercer término, el equipo puede desarrollar un conocimiento de antecedente que haga posible que los miembros del equipo elaboren reivindicaciones novedosas.

En el curso de trabajos de desarrollo de un producto, la mayoría de los equipos acumulan varias referencias de invenciones previas. Algunas de las fuentes de información sobre invenciones previas incluyen:

- Literatura existente e histórica de un producto.
- Búsquedas de patentes.
- Publicaciones técnicas y de comercio.

Se pueden usar varias buenas fuentes de referencia en línea para buscar patentes. Búsquedas sencillas de palabras clave son a veces suficientes para hallar casi todas las patentes relevantes. Es importante que el equipo mantenga un archivo que contenga el arte previo que conozca. Esta información debe ser proporcionada a la oficina de patentes poco después de solicitar la patente.

En la patente de Coffin para el portavasos que se ve en la figura 16-1, las referencias a otras 19 patentes de Estados Unidos se citan junto con una referencia a un libro. (Las referencias citadas por el inventor y por el examinador de patentes se citan en la primera página de una patente. La primera página de la patente de Coffin se reproduce como la figura 16-3.) Entre el arte previo referenciado para la patente de Coffin, por ejemplo, hay una patente de 1930 por Benson (1,771,765; “Recipiente de papel a prueba de agua”) en el que un portador acanalado aísla una taza con funda de papel. La patente Benson describe un portavasos que se ajusta por abajo y en la parte inferior de la taza de papel. Ésta es una razón por la que la invención de la patente de Coffin se describe como un tubo con una abertura arriba y abajo.

Paso 3: Bosquejar reivindicaciones

La expedición de una patente da al propietario un derecho legal para excluir a otros de infringir la invención específicamente descrita en las reivindicaciones de la patente. Las reivindicaciones describen ciertas características de la invención; están escritas en lenguaje formal legal y deben apegarse a algunas reglas de composición. En el paso 5 describimos cómo funciona el lenguaje formal legal. No obstante, en este punto del proceso de elaborar una descripción, el equipo se beneficia de pensar con todo cuidado acerca de lo que piense que es único acerca de la invención. Por lo tanto, recomendamos que el equipo bosqueje las reivindicaciones. No se preocupe por la precisión legal en este punto, pero haga una lista de las funciones y características de la invención que el equipo piense que son únicas y valiosas. Por ejemplo, un bosquejo de las reivindicaciones para la invención de Coffin podría ser:

- Uso de ondulaciones como aislamiento, en muchas formas posibles.
  - Ondulaciones en la superficie interior del tubo.
  - Ondulaciones en la superficie exterior del tubo.
  - Ondulaciones emparedadas entre dos capas planas de material laminado.
  - Orientación vertical de ondulaciones.
    - Ondulaciones abiertas arriba y abajo del portador.
  - Ondulaciones con sección transversal en “onda triangular”.
  - Ondulaciones con sección transversal en “onda senoidal”.
- Forma tubular con aberturas en ambos extremos.
  - En forma de cono truncado.
- Materiales reciclables.
  - Adhesivo reciclable.
  - Hoja reciclable.
    - Material de celulosa.
- Adhesivo biodegradable.
- Superficie sobre la que se imprima.
- El portador se dobla hasta quedar plano a lo largo de dos líneas de doblez.

El bosquejo de las reivindicaciones da la directriz acerca de lo que se debe describir con detalle en la descripción.

Paso 4: Escribir la descripción de la invención

La mayor parte de la solicitud de patente se conoce formalmente como *especificación*. Para evitar confusión con nuestro uso de la palabra *especificaciones* en este libro, al cuerpo de la solicitud de patente lo llamamos *descripción* porque ésta es la parte de la solicitud que en realidad describe la invención. La descripción debe presentar la invención con suficiente detalle para que alguien con “capacidad ordinaria en el arte” (es decir, alguien con habilidad y capacidad de un practicante típico que trabaje en el mismo campo básico de la invención) pueda realizar la invención. La descripción también debe ser un documento de mercadotecnia que promueva el valor de la invención y las debilidades en soluciones existentes. La solicitud de patente será leída por un examinador de patentes que buscará y estudiará patentes previas. La descripción debe convencer al examinador de que los inventores desarrollaron algo útil que es diferente a invenciones existentes y que no es obvio. En este sentido podemos considerar que la descripción es en esencia un informe técnico de la invención. Hay algunas convenciones de formato para solicitudes de patente, aun cuando éstas no son estrictamente necesarias para la descripción de una invención o una solicitud provisional de patente.

La ley de patentes exige que la solicitud “enseñe” con suficiente detalle que alguien “diestro en el arte” pueda practicar la invención. Por ejemplo, en la patente de Coffin, el inventor describe que el adhesivo para pegar las ondulaciones es “un adhesivo reciclable y preferentemente biodegradable, por ejemplo, adhesivo R130 de Fasson Inc., Grand Rapids, MI”. El requisito de enseñar completamente la invención puede ser algo contrario a la intuición de alguien acostumbrado a tratar invenciones en forma confidencial. La ley de patentes exige que los inventores describan lo que saben acerca de la invención, pero a cambio les otorga el derecho de excluir a otros de practicar la invención durante un periodo limitado. Este requisito refleja la tensión básica del sistema de patentes al otorgar un monopolio temporal a inventores a cambio de publicación de información que finalmente estará a la venta para uso de alguien.

Una descripción típica incluye los siguientes elementos:

- ***Título:*** Una breve leyenda que describa la invención, por ejemplo “Recipiente y funda acanalada reciclables para bebidas”.
- ***Lista de inventores:*** Deben ponerse en lista todos los inventores. Una persona debe ponerse en lista como inventor si originó cualquiera de las invenciones reivindicadas en la solicitud. No hay límites legales en cuanto al número de inventores ni requisitos acerca del orden en el que los inventores aparezcan en la lista. No poner en esa lista a un inventor podría resultar en una patente que eventualmente se declare como inválida.
- ***Campo de la invención:*** Explique con qué tipo de aparato, producto, máquina o método se relaciona esta invención. Por ejemplo, la patente de Coffin indica “Esta invención se relaciona con recipientes aislantes, en especial con aquellos que son reciclables y de materiales de celulosa”.
- ***Antecedente de la invención:*** Exprese el problema que resuelve la invención. Explique el contexto del problema, qué hay de malo en las soluciones existentes, por qué es necesaria una nueva solución y qué ventajas ofrece la invención.
- ***Resumen de la invención:*** Esta sección debe presentar el espíritu de la invención en forma resumida. El resumen puede señalar las ventajas de la invención y la forma en que resuelve problemas descritos en el antecedente.
- ***Breve descripción de los dibujos:*** Haga una lista de las figuras en la descripción junto con una breve explicación de cada dibujo. Por ejemplo, “La figura 10 es una vista en perspectiva de una configuración preferida que ilustra porciones internas de ondulación en vistas separadas”.
- ***Descripción detallada de la invención:*** Esta sección contiene descripciones detalladas de configuraciones de la invención, con una explicación de la forma en que funcionan dichas configuraciones. A continuación aparece una exposición de la descripción detallada.

Figuras

Las figuras formales para patentes deben apegarse a una variedad de reglas acerca de leyendas, grosores de líneas y tipos de elementos gráficos. No obstante, para una descripción de invención o solicitud provisional de patente, figuras informales son suficientes y bosquejos a mano o dibujos en CAD son perfectamente apropiados. En alguna instancia, después de presentar una solicitud regular de patente, la oficina de patentes solicitará figuras formales y será entonces cuando un dibujante profesional puede ser contratado para elaborar versiones formales de las figuras necesarias. Prepare suficientes figuras para mostrar con toda claridad los elementos clave de la invención en las configuraciones preferidas que hayan sido consideradas. Es probable que una invención tan sencilla como el portavasos requiera de cinco a 15 figuras.

Las características mostradas en las figuras pueden marcarse con palabras (por ejemplo, “capa exterior”) aun cuando, para facilitar la elaboración de una solicitud regular de patente, el equipo pueda usar “números de referencia” en las figuras desde el principio. Ninguna regla estipula que los números de referencia deban ser ininterrumpidos y consecutivos, de modo que un esquema cómodo de numeración utiliza números de referencia 10, 11, 12 y demás, para características que primero aparecen en la figura 1; los números de referencia 20, 21, 22 y demás, para características que aparecen primero en la figura 2, y así sucesivamente. Esta forma de agregar números a una figura no influye en el uso de números de otra figura. La misma característica mostrada en más de una figura debe marcarse con el mismo número de referencia, para que algunos números se lleven de una figura a otra.

Escribir la descripción detallada

La descripción detallada describe *configuraciones* del invento. Una configuración es una realización física de la invención reivindicada. La ley de patentes exige que la solicitud describa la *configuración preferida,* es decir, la mejor forma de poner en práctica la invención. Típicamente, una descripción detallada se organiza como un conjunto de párrafos, cada uno de los cuales describe una configuración de la invención en términos de su estructura física junto con una explicación de cómo funciona la configuración.

Una buena estrategia para escribir la descripción detallada es primero crear las figuras que muestran configuraciones de la invención. A continuación describa la configuración al marcar cada una de las características de la configuración de la figura y explicar la disposición de estas características. Por último, explique la forma en que funciona la configuración y por qué las características son importantes para esta función. Este proceso se repite para cada una de las configuraciones descritas en la descripción detallada.

Considere la figura 10 de la patente de Coffin, que se ve aquí como figura 16-4. Una descripción detallada podría incluir un lenguaje como el siguiente:

> En la figura 10 se muestra una configuración preferida de la invención. Una superficie 22 de forro y una superficie exterior 24 emparedan una acanaladura 21. El conjunto 200 forma una figura tubular cuyo diámetro cambia linealmente con la longitud para formar una sección de un cono truncado. La superficie lisa exterior 24 produce una superficie lisa sobre la que se pueden imprimir gráficas. La acanaladura 21 está pegada a la superficie exterior 24 y la superficie de forro 22 con un adhesivo reciclable.

La descripción detallada debe mostrar configuraciones alternativas de la invención. Por ejemplo, en la patente de Coffin, las características de invención “ondulaciones” que crean un espacio aislante de aire. En una configuración preferida estas ondulaciones están formadas por acanaladuras onduladas, con la superficie lisa en el exterior para permitir que con facilidad se impriman gráficos en el forro. Las configuraciones alternativas incluyen ondas triangulares y/o materiales laminados en cualquiera de los lados o en ambos del tubo. Estas configuraciones alternativas se explican en la descripción detallada y se ven en las figuras. (Vea figura 16-5.)

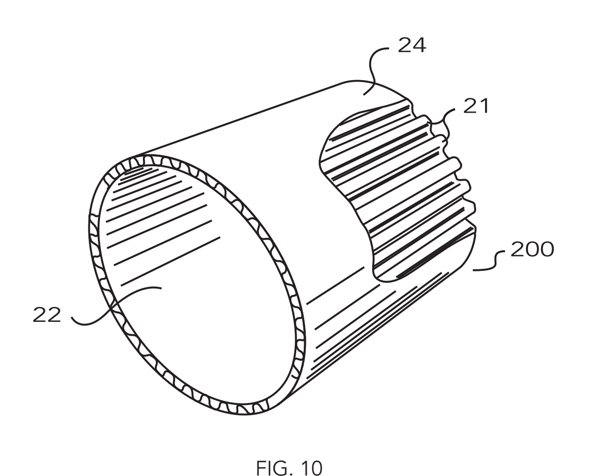


FIGURA 16-4 Figura 10 de la patente de Coffin.

Descripción defensiva

El principal beneficio de una patente es que otorga *derechos ofensivos* al propietario. Esto es, el propietario tiene el derecho de impedir que otros pongan en práctica la invención. No obstante, las patentes también ofrecen un mecanismo sutil para tomar acciones *defensivas*. Una patente está considerada como arte previo y por tanto una invención que aparece en una patente puede no ser patentada en el futuro. Por esta razón, los inventores pueden beneficiarse de describir esencialmente toda invención que consideren que se relaciona con la invención reivindicada, no importa cuál sea su variedad. Esto puede hacerse en la descripción detallada. Aun cuando estas invenciones no se reflejen en realidad en las reivindicaciones de la patente, su descripción se convierte en parte del arte previo y por lo tanto impide que otros la patenten. Esta estrategia de-

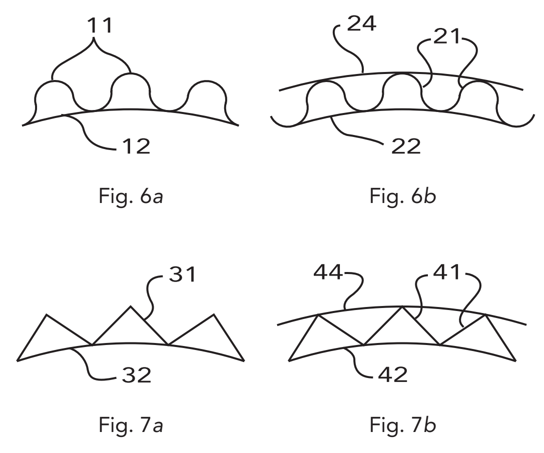


FIGURA 16-5 Figuras 6*a*, 6*b*, 7*a* y 7*b* de la patente de Coffin que muestran configuraciones alternativas de la invención.

fensiva puede ofrecer ventajas competitivas en campos de tecnologías emergentes.

Paso 5: Refinar reivindicaciones

Las reivindicaciones son un conjunto de frases numeradas que definen con precisión los elementos esenciales de la invención. Estas reivindicaciones son la base de todos los derechos ofensivos de patente. Un propietario de patente puede impedir que otros pongan en práctica la invención descrita por las reivindicaciones únicamente. El resto de la solicitud de patente es en esencia un antecedente y el contexto para las reivindicaciones.

Escribir las reivindicaciones

Aun cuando las reivindicaciones deben expresarse en forma verbal, se apegan a una lógica matemática estricta. Casi todas las reivindicaciones se formulan como una expresión repetitiva de la forma

$$X = A + B + C. \dots, \text{ donde } A = u + v + w. \dots, B = \dots$$

Esto se expresa verbalmente como:

> Una *X* que comprende una *A*, una *B* y una *C*; donde dicha *A* está formada de una *u*, una *v* y una *w*; y donde dicha *B* es …

Nótese que las reivindicaciones se apegan a algunas convenciones verbales. La palabra *comprende* significa "incluyendo pero no limitada a" y casi siempre se usa como el signo igual en la expresión. La primera vez que un elemento, por ejemplo una *hoja de forro*, se mencione en una reivindicación, el inventor usa el artículo indefinido *una* como en "comprende *una* hoja de forro". Una vez que este elemento se haya mencionado, nunca se le cita como *la* hoja de forro, sino que siempre es *dicha* hoja de forro. Esto es cierto para todo ejemplo subsiguiente en el que se use *hoja de forro* en las reivindicaciones. Aun cuando estas convenciones no son difíciles de recordar una vez que se aprenden, los inventores que elaboren una descripción para una edición subsiguiente hecha por un abogado de patentes no deben preocuparse demasiado por la corrección formal del lenguaje. El lenguaje se corrige fácilmente cuando se elabora la solicitud formal de patente.

Múltiples reivindicaciones se ordenan jerárquicamente en *independientes* y *dependientes*. Las primeras son autónomas y forman los nodos raíz de una jerarquía de reivindicaciones. Las reivindicaciones dependientes siempre añaden restricciones a una reivindicación independiente; las dependientes se escriben por lo general en esta forma:

> La invención de la Reivindicación N, que además comprende *Q*, *R* y *S* . . .

o bien

> La invención de la Reivindicación N, donde dicha *A*. . .

Las reivindicaciones dependientes heredan en esencia todas las propiedades de la reivindicación independiente de la que dependen. En realidad, una reivindicación dependiente se puede

leer como si todo el lenguaje de la reivindicación independiente de la que depende se insertara como sustituto de la frase de introducción "la invención de la Reivindicación N".

Las reivindicaciones dependientes son importantes en cuanto a que la oficina de patentes puede rechazar la reivindicación independiente como obvia y no novedosa mientras que permite una o más reivindicaciones dependientes. En tales casos permanece el material patentable; la reivindicación original independiente se puede borrar y la reivindicación original dependiente se puede reescribir como una reivindicación independiente.

Los elementos de una reivindicación forman una relación *lógica*. Para infringir una reivindicación, un mecanismo debe incluir todos y cada uno de los elementos mencionados en la reivindicación. Si, por ejemplo, un producto de la competencia fuera a usar sólo tres o cuatro elementos mencionados en una reivindicación, no violaría la reivindicación.

Considere este ejemplo de la patente de Coffin (editado para mayor claridad).

Reivindicación 1

> Un portador de recipientes para líquidos, formado por un miembro tubular acanalado que contiene material de celulosa y al menos una primera abertura ahí para recibir y retener un recipiente de líquidos, dicho miembro tubular acanalado conteniendo medios ondulados para contener aire aislante; dichos medios ondulados conteniendo ondulaciones unidas con adhesivo a un forro con un adhesivo reciclable.

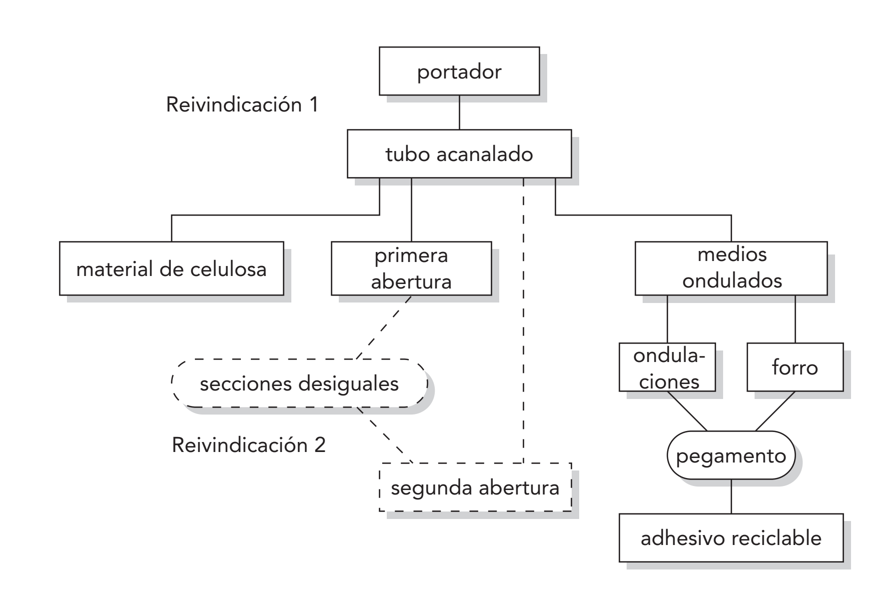
La Reivindicación 1 es independiente. Considere la Reivindicación 2, que es dependiente de la Reivindicación 1.

Reivindicación 2

> El portador de la reivindicación 1, en que dicho miembro tubular además contiene una segunda abertura en que dicha primera abertura y dicha segunda abertura son de dimensiones desiguales de sección transversal.

Esta reivindicación se apega a la estructura lógica mostrada en la figura 16-6.

FIGURA 16-6 Estructura lógica de las Reivindicaciones 1 y 2 de la patente de Coffin. Nótese que la Reivindicación 2 depende de la Reivindicación 1 y simplemente agrega más restricciones, una segunda abertura y una relación entre las aberturas primera y segunda.



Reforcemos la idea de que una reivindicación está formada de una relación lógica "y" entre sus elementos. La reivindicación 1 es para un portador que incluye todos estos elementos:

- Tubo acanalado.
  - Hecho de material de celulosa.
  - Con una primera abertura.
  - Con medios ondulados.
    - Hechos de ondulaciones unidas adhesivamente a un forro.
      - Usa adhesivo reciclable.

Si un portavasos de la competencia no tiene todos y cada uno de estos elementos, no viola esta reivindicación. Entonces, por ejemplo, si estuviera hecho de poliestireno, no infringiría esta reivindicación (no tiene material de celulosa). Considere una patente de Jay Sorensen presentada poco después de la patente de Coffin. La patente de Sorensen es para un portavasos con una superficie con hoyuelos. (Vea la figura 16-7.) Como esta invención no tiene "medios ondulados" no infringe la patente de Coffin. Las reivindicaciones de Sorensen incluyen lo siguiente (editado para mayor claridad):

Reivindicación 4

> Un portavasos que contiene una banda de material formado con una abertura superior y una abertura en el fondo por la cual un vaso se puede extender y una superficie interior inmediatamente adyacente a dicho vaso, dicha banda comprendiendo una pluralidad de depresiones discretas, separadas, aproximadamente semiesféricas en su forma y distribuidas de hecho en toda la superficie interior de dicha banda, de modo que cada depresión define una región sin contacto de dicha banda, creando una brecha de aire entre dicha banda y dicho vaso, reduciendo así la cantidad de transferencia de calor por dicho portavasos.

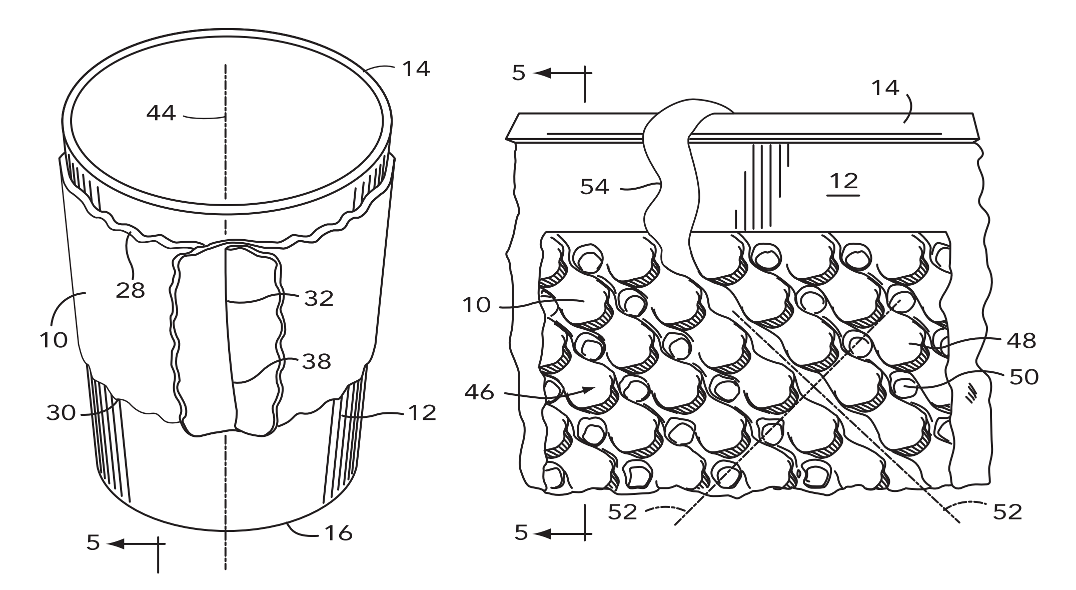


FIGURA 16-7 Figura de la patente de Sorensen (Patente 5,425,497 de Estados Unidos, "portavasos con hoyuelos").

Al menos dos lecciones se pueden derivar de comparar las invenciones de Coffin y de Sorensen. Primera, las patentes a veces dan ventajas comerciales relativamente limitadas. En este caso, al crear un portavasos con hoyuelos en lugar de ondulaciones, Sorensen pudo evitar infringir la patente de Coffin. En realidad, las dos invenciones están materializadas por productos comerciales exitosos, pero ninguna patente da protección absoluta ante la competencia. La segunda lección es que el inventor debió invertir más tiempo en considerar tantas formas como fuera posible para lograr la función deseada de la invención, en este caso una capa aislante. En caso de que Coffin hubiera pensado en una superficie con hoyuelos, entonces esta característica pudo haber sido descrita en su solicitud de patente. En el mejor de los casos, la invención con hoyuelos pudo haber formado la base para reivindicaciones adicionales en la patente; en el peor de los casos, la descripción de la incorporación con hoyuelos en la solicitud de patente hubiera sido arte previo, lo que habría impedido a Sorensen obtener su patente. (No impediría que Sorensen y otros pusieran en práctica la invención con hoyuelos a menos que fuera reivindicada.)

Directrices para elaborar reivindicaciones

Varias directrices son útiles al elaborar reivindicaciones. Escribir grandes reivindicaciones es complicado, de modo que aconsejamos que los inventores busquen la asesoría de un certificador de patentes experimentado para refinar la solicitud de patente.

- Siempre trate de hacer una reivindicación tan general como sea posible. Cuando use una descripción específica, trate de hacerla general. Por ejemplo, la patente de Coffin habla de un “miembro tubular” y no de un “tubo”.
- Evite definiciones absolutas al usar modificadores como “sustancialmente”, “esencialmente” y “aproximadamente”.
- Trate de crear una invención que no infrinja una reivindicación redactada y luego trate de reescribir la reivindicación o agregar una reivindicación adicional tal que la invención hipotética infringiría.

Paso 6: Dar seguimiento a solicitud

En la mayor parte de los casos, el inventor entregará la solicitud en borrador a un abogado de patentes o a otro profesional de propiedad intelectual para su refinamiento y solicitud formal. Es posible solicitar una patente como individuo si hay severas restricciones de presupuesto. Nótese que los requisitos establecidos por la ley son administrativamente complejos y, por ello, recomendamos en forma encarecida que los equipos de desarrollo de un producto comercial retengan un especialista competente para dar seguimiento a cualquier solicitud ante la oficina de patentes.

Una vez elaborada la descripción de una invención, el equipo puede continuar en cuatro formas diferentes, con el curso de acción específico dictado por el contexto del negocio.

- ***El equipo puede presentar una solicitud provisional de patente.*** Una persona o empresa pequeña puede presentar una solicitud provisional de patente por menos de 100 dólares en derechos por hacerlo. Es necesario que la solicitud contenga sólo una descripción de la invención y no tiene que apegarse a las formalidades de una solicitud regular de patente. Una vez que se presente una solicitud provisional, un producto puede marcarse como “patente pendiente”. Si el equipo desea darle seguimiento a una solicitud regular de patente,

ésta debe ser presentada antes de que pase un año a partir de la presentación de la solicitud provisional de patente. Una patente provisional, por lo tanto, actúa como opción para darle seguimiento a una solicitud regular de patente y le da tiempo al equipo para buscar una licencia o investigar más antes de incurrir en el gasto de una solicitud regular de patente.

- ***El equipo puede presentar una solicitud regular de patente en Estados Unidos.*** Este proceso cuesta casi 500 dólares en derechos de presentación para una persona o pequeña empresa, además del pago de derechos legales para un apoderado de patentes.
- ***El equipo puede presentar una solicitud de tratado de cooperación de patentes o PCT.*** Una solicitud PCT permite una sola solicitud de patente en un solo país, por ejemplo Estados Unidos, para iniciar el proceso de darle seguimiento a la protección internacional de patentes. Eventualmente, el inventor debe darle seguimiento a la protección de patente en países individuales o grupos de países (por ejemplo, la Unión Europea). No obstante, el proceso PCT permite que los primeros pasos del proceso se realicen en forma relativamente eficiente y con un solo punto de contacto. Todo el proceso de darle seguimiento a derechos extranjeros de patente está fuera del propósito de este capítulo. Consulte a un abogado de patentes para más detalles.
- ***El equipo puede diferir indefinidamente una solicitud.*** El equipo puede posponer el trámite, en espera de que información futura haga obvio el curso de una acción. En algunos casos, el equipo puede decidir no darle seguimiento a la invención y por lo tanto decide abandonar el proceso de solicitud de patente. Las consecuencias de la posposición pueden ser importantes. Si la invención se describe públicamente, entonces se renuncia a todos los derechos internacionales de patente. Si transcurre un año después de la descripción pública sin presentar una solicitud regular de patente, entonces se renuncia a los derechos de patente en Estados Unidos. No obstante, el equipo puede diferir cualquier acción durante varios meses antes que se realicen estas eventualidades.

En algún punto después de que el equipo presente una solicitud regular de patente o solicitud PTO, la oficina de patentes expedirá un *acta oficial* que responda a la solicitud. Casi siempre, un examinador de patentes rechazará muchas o todas las reivindicaciones como obvias o no novedosas. Ésta es la norma y es parte de un intercambio en una y otra dirección entre la oficina de patentes y el inventor que debe finalmente resultar en que las reivindicaciones son patentables. A continuación, el inventor y el apoderado de patentes afinan argumentos, editan reivindicaciones para reflejar comentarios del examinador y responden al acta oficial con una solicitud reformada. Casi todas las solicitudes eventualmente resultan en una patente expedida, aun cuando las reivindicaciones raras veces permanecen exactamente como originalmente se escribieron.

La oficina de patentes no revisa o actúa en solicitudes provisionales de patente. Simplemente registra sus presentaciones y guarda la solicitud para revisión cuando se presente una solicitud regular.

Paso 7: Reflexionar sobre los resultados y el proceso

Al reflexionar sobre la solicitud de patente o descripción de la invención, el equipo debe considerar al menos las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las características esenciales y distintivas del concepto del producto, y por lo tanto de la invención? ¿Estas características se reflejan en la descripción de la invención

y en las reivindicaciones? ¿La descripción comunica la mejor forma de practicar la invención?
- ¿Cuál es la programación de futuras acciones requeridas? Por lo general el abogado de patentes del equipo mantendrá un *expediente*, en esencia un calendario que indique cuándo deben tomarse más acciones para preservar derechos de patente. No obstante, el inventor o alguien dentro de la empresa del equipo debe también ser responsable de considerar las acciones que deban tomarse en los próximos meses.
- ¿Qué aspectos del proceso de elaborar la solicitud de patente o descripción de invención se manejaron bien y cuáles aspectos requieren de más trabajo en el futuro?
- ¿Qué aprendió el equipo acerca del arte previo que puede informar de futuros trabajos de desarrollo de un producto? Por ejemplo, ¿hay tecnologías valiosas de las que se podría obtener licencia de dueños existentes de patentes? ¿Están expirando patentes de la competencia, posiblemente permitiendo al equipo usar una solución cómoda para un problema que tenga mucho tiempo?
- ¿Qué tan fuerte es la posición de propiedad intelectual del equipo? ¿Las características de la invención de la solicitud de patente son tan novedosas y valiosas que en realidad impiden que otros compitan directamente o es probable que la patente sea sólo una fuerza de disuasión para las copias más directas de los productos que incorporan la invención?
- ¿El equipo empezó el proceso demasiado temprano o demasiado tarde? ¿Se apresuró el trabajo? ¿Cuál es la programación ideal del siguiente trabajo para elaborar una solicitud de patente?

Resumen

- Una patente es un monopolio temporal otorgado por un gobierno para excluir a otros de usar, hacer o vender una invención. La ley de patentes tiene la intención de equilibrar un incentivo por invento con la divulgación gratuita de información.
- Las patentes de servicio son el elemento central de la propiedad intelectual para la mayor parte de los trabajos de desarrollo de un producto basado en tecnología.
- Una invención puede patentarse si es útil, novedosa y no obvia.
- La invención final que se patente se define por las reivindicaciones de patente. El resto de la solicitud de patente en esencia sirve como antecedente y explicación en apoyo de las reivindicaciones.
- Recomendamos un proceso de siete pasos para dar seguimiento a una patente:
  1. Formular una estrategia y plan.
  2. Estudiar invenciones previas.
  3. Bosquejar reivindicaciones.
  4. Escribir la descripción de la invención.
  5. Refinar reivindicaciones.
  6. Dar seguimiento a una solicitud.
  7. Reflexionar sobre los resultados y el proceso.
- Las solicitudes provisionales de patente y solicitudes de tratado de cooperación de patente (PCT) se pueden usar para minimizar los costos de dar seguimiento a protección de patentes, al mismo tiempo que preservan todas las opciones futuras.

Referencias y bibliografía

Existen numerosos recursos actuales en internet **www.ulrich-eppinger.net**

Los ejemplos del capítulo se derivan de las patentes de Coffin y Sorensen.

Coffin, David W., *Recyclable Corrugated Beverage Container and Holder*, United States Patent 5,205,473, 27 de abril de 1993.

Sorensen, Jay, *Cup Holder*, United States Patent 5,425,497, 20 de junio de 1995.

El libro de Pressman es una guía completa para los detalles de la ley de patentes y da un proceso, paso a paso, para escribir una solicitud de patente y dar seguimiento a la solicitud en la oficina de patentes. El libro también contiene valiosa información relacionada con licencias de invenciones.

Pressman, David, *Patent It Yourself*, duodécima edición, Nolo Press, Berkeley, CA, 2006.

Stim proporciona un examen a profundidad de casi todos los aspectos de la propiedad intelectual, incluyendo marcas registradas y derechos de autor.

Stim, Richard, *Patent, Copyright & Trademark: An Intellectual Property Desk Reference*, octava edición, Nolo Press, Berkeley, CA, 2006.

Ejercicios

1. Encuentre un número de patente sobre un producto que le interese. Busque la patente usando una herramienta de referencia en línea.
2. Elabore una reivindicación para la invención de la nota autoadherible vendida por la 3M Corporation como Post-it.
3. Trace un diagrama lógico de dos reivindicaciones para la patente del ejercicio 1.
4. Genere uno o más conceptos de producto que sean muy diferentes de las invenciones de Coffin y Sorensen para resolver el problema de manejar una taza de café caliente y que no infrinja las patentes de Coffin y Sorensen.

Preguntas de análisis

1. Surgió una controversia en 1999 cuando J. M. Smucker Company demandó a la panadería Albie's de Michigan por violar su patente para comercializar una mantequilla de cacahuate sin cáscara y emparedado de gelatina ondulado en los bordes. (Vea la patente 6,004,596 de Estados Unidos). Albie's arguyó que la patente había sido expedida en error porque la invención era obvia. Busque la patente de Smucker. ¿Piensa usted que la invención de Smucker es no obvia? ¿Por qué sí o por qué no?
2. ¿Por qué podría un inventor describir pero no reivindicar una invención en una patente?

Apéndice A

Marcas registradas

Una marca registrada es una palabra o símbolo asociado con los productos de un fabricante en particular. Las marcas registradas pueden formar un elemento importante del portafolio de propiedad intelectual poseído por una empresa. Las marcas registradas pueden ser palabras, "marcas de palabra" (gráficas estilizadas que evidencian palabras) y/o símbolos. Las marcas registradas por lo general corresponden a marcas, nombres de producto y a veces nombres de empresas.

La ley de marcas registradas tiene la intención de impedir la competencia desleal, la cual podría surgir si un fabricante nombra a sus productos igual que los de otro fabricante en un intento por confundir al público. En realidad, para evitar confusión, cuando un fabricante utiliza la marca registrada de un competidor en publicidad, digamos con fines de comparación, por ley debe indicar que el nombre es una marca registrada del competidor.

Las marcas registradas no deben ser puramente descriptivas. Por ejemplo, aun cuando una empresa no obtenga una marca registrada de "Funda aislante", podría hacerlo por nombres que sean sugestivos pero no puramente descriptivos como "Insleev", "ThermoJo" o "CupPup".

En Estados Unidos, una marca registrada federal puede establecerse simplemente con usar la marca en comercio interestatal. Esto se hace agregando "TM" a la palabra o símbolo cuando se use en publicidad, o marcando el producto (por ejemplo, JavaJacker™). Las marcas de fábrica también pueden registrarse a un costo mínimo a través de la Oficina de Patentes y Marcas Registradas de Estados Unidos usando un proceso sencillo. Cuando se registre, una marca registrada se denota con el símbolo ® (por ejemplo, Coke®).

Dada la importancia de internet para comunicarse con clientes, cuando se creen nombres de nuevos productos, el grupo debe esforzarse en crear marcas registradas que correspondan exactamente para dominar nombres en internet.

Apéndice B

Consejo a inventores individuales

La mayoría de los estudiantes y profesionales del desarrollo de productos habían tenido una idea para un producto novedoso. Con frecuencia, pensar más resulta en un concepto de producto que a veces se materializa en una invención patentable. Una concepción errónea común entre inventores es que una idea sin procesar o incluso un concepto de producto es altamente valiosa. Veamos a continuación algún consejo con base en observaciones de numerosos inventores y trabajos de comercialización de productos.

- Una patente puede ser un elemento útil de un plan para desarrollar y comercializar un producto. No obstante, no es realmente un elemento central de esa actividad. Patentar una invención puede por lo general esperar hasta que muchos de los riesgos técnicos y de mercado se hayan resuelto.

- Una patente en sí misma raras veces tiene algún valor comercial. (Una idea por sí misma tiene incluso menos valor.) Para extraer valor de una oportunidad de producto, un inventor debe por lo general completar un diseño de producto, resolver los difíciles acuerdos asociados con satisfacer necesidades de clientes al mismo tiempo que minimizar costos de producción. Una vez terminado este duro trabajo, un diseño de producto puede tener un valor sustancial. En la mayor parte de los casos, dar seguimiento a una patente no vale la pena por todo el trabajo que requiere, excepto como parte de un esfuerzo mayor, para llevar un concepto de producto a un objetivo importante de desarrollo como lo es un prototipo que funcione. Si el diseño se prueba mediante prototipos y pruebas, una patente puede ser un mecanismo importante para aumentar el valor de esta propiedad intelectual.
- Conceder licencia de una patente a un fabricante como inventor individual es muy difícil. Si se toma en serio la oportunidad de su producto, esté preparado para darle seguimiento a la comercialización de su producto por sí mismo o en sociedad con una empresa más pequeña. Una vez que se haya demostrado que hay mercado para el producto, conseguir una licencia para una entidad más grande es mucho más probable.
- Presente una solicitud provisional de patente. Por muy poco dinero, una persona que utilice las directrices de este capítulo puede presentar una solicitud provisional. Esto da una protección de patente durante un año, mientras que usted evalúa si su idea merece la pena darle seguimiento.

CAPÍTULO DIECISIETE

Economía de desarrollo del producto



Cortesía de Arne List

FIGURA 17-1 Una de las impresoras digitales de fotos a color de Polaroid.

El equipo de desarrollo de un producto de Polaroid Corporation estaba trabajando en el desarrollo de una nueva impresora de fotografías, la CI-700, que se ve en la figura 17-1. La CI-700 produciría fotografías a todo color al instante a partir de imágenes digitales guardadas en una computadora. Los mercados principales para el producto son las artes gráficas, seguros e industrias de bienes raíces. Durante el desarrollo de la CI-700, el equipo de desarrollo de producto de Polaroid tuvo que tomar varias decisiones que podrían tener un efecto significativo en la rentabilidad del producto:

- ¿Debería el equipo tomarse más tiempo en el desarrollo para ofrecer el producto en "plataformas" múltiples de computadora o sería demasiado costosa una demora para llevar la CI-700 al mercado?
- ¿Debería el producto usar medios impresos estándar de negocios existentes de Polaroid o medios de impresión nuevos y especializados de la más alta calidad?
- ¿Debería el equipo aumentar el gasto en desarrollo para aumentar la confiabilidad de la CI-700?

El equipo de desarrollo del producto necesitaba herramientas para ayudarse a tomar éstas y otras decisiones de desarrollo. Este capítulo presenta un método de análisis económico para apoyar las decisiones de equipos de desarrollo de productos. El proceso consta de dos tipos de análisis, *cualitativo* y *cuantitativo*. En este capítulo se hace énfasis en métodos rápidos y aproximados para apoyar la toma de decisiones dentro del equipo de proyecto.

Elementos de análisis económico

Análisis cuantitativo

Hay diversas entradas básicas de dinero (ingresos) y salidas (costos) en el ciclo de vida de un producto nuevo y exitoso. Las entradas de dinero provienen de ventas de productos; las salidas incluyen gastos en el desarrollo del producto y procesos, costos de arranque de producción como son compras de equipo y herramental, costos de mercadotecnia y apoyo al producto, y costos vigentes de producción como materias primas, componentes y mano de obra. Las entradas y salidas acumulativas de dinero en el ciclo de vida de un producto exitoso típico se presentan en forma esquemática en la figura 17-2.

Los productos económicamente exitosos son rentables, es decir, generan más entradas acumulativas que salidas acumulativas. Una forma de medir que las entradas son mayores a las salidas es el *valor presente neto* (VPN) del proyecto, o sea el valor de todos los flujos de dinero futuros esperados pero en dólares de hoy. La parte cuantitativa del método de análisis económico descrito en este capítulo, estima el VPN de flujos de dinero esperados de un proyecto. El método emplea técnicas del VPN porque se entienden con facilidad y se usan ampliamente en negocios. (El apéndice A contiene un breve material didáctico sobre el VPN.) El valor del análisis cuantitativo no está sólo en dar evaluaciones objetivas de proyectos y alternativas, sino también en llevar una medida de estructura y disciplina a la evaluación de proyectos del desarrollo de productos.

Análisis cualitativo

Un análisis cuantitativo puede captar sólo aquellos factores que sean medibles, aunque a veces los proyectos tienen implicaciones positivas y negativas que son difíciles de cuantificar. Del mismo modo, un análisis cuantitativo raras veces capta las características de un am-

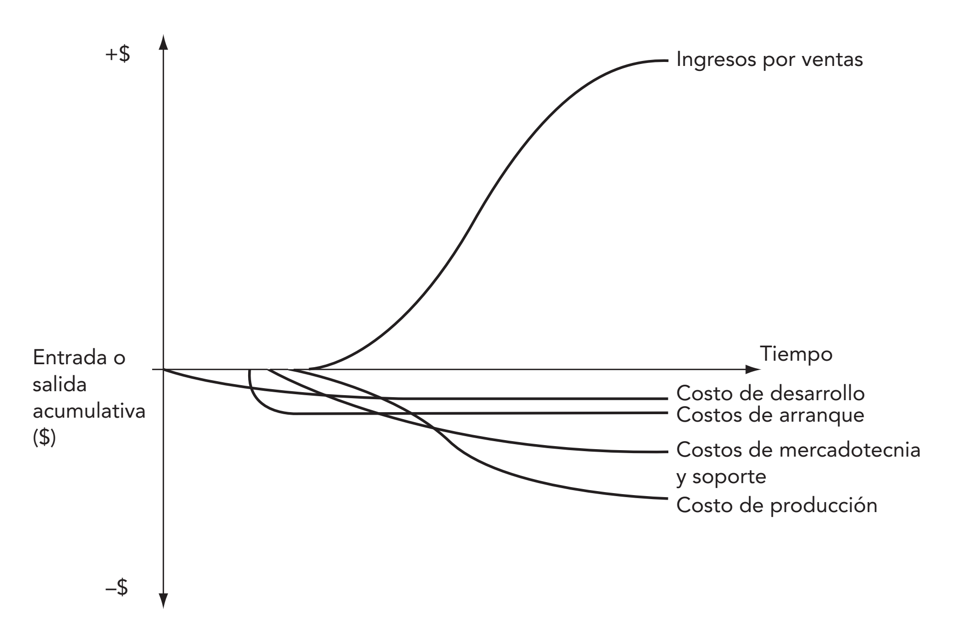


FIGURA 17-2 Flujos de dinero típicos para un nuevo producto exitoso.

biente dinámico y competitivo. Un alto ejecutivo de una importante empresa estadounidense subraya este punto: "He discutido con mis MBA diciéndoles que un gasto de capital es erróneo porque no tiene reembolso en no más de dos o tres años; ignoran el hecho de que si no hacemos el movimiento, nos quedaremos atrás en nuestra industria por cuatro o cinco años" (Linder y Smith, 1992). El método en este capítulo emplea análisis cualitativo para captar algunos de estos problemas. Nuestro método para el análisis cualitativo es considerar específicamente las interacciones entre el proyecto y 1) la empresa, 2) el mercado y 3) el ambiente macroeconómico.

¿Cuándo debe realizarse un análisis económico?

Un análisis económico, que incluye procedimientos cuantitativos y cualitativos, es útil al menos en dos circunstancias diferentes:

- ***Hito de pasa/no pasa:*** Por ejemplo, ¿deberíamos tratar de desarrollar un producto para abordar esta oportunidad de mercado? ¿Deberíamos continuar con la aplicación de un concepto seleccionado? ¿Deberíamos lanzar el producto que hemos desarrollado? Estas decisiones surgen típicamente al final de cada fase de desarrollo.
- ***Decisiones operacionales de diseño y desarrollo:*** Las decisiones operacionales comprenden preguntas como: ¿Debemos gastar 100 000 dólares en contratar una empresa que desarrolle este componente y así ahorrar dos meses de tiempo de desarrollo? ¿Debemos lanzar el producto en cuatro meses a un costo unitario de 450 dólares o esperar hasta seis meses cuando podamos reducir el costo a 400 dólares?

El análisis hecho al principio de un proyecto por lo general puede actualizarse para no tener que crearlo cada vez en su totalidad. Si se usa de este modo, el análisis se convierte en uno de los sistemas de información que el equipo usa para manejar el proyecto de desarrollo.

Un análisis económico lo puede realizar cualquier miembro del equipo de desarrollo. En empresas pequeñas, el líder del proyecto o uno de los miembros del equipo central de proyecto pondrán en práctica los detalles del análisis. En empresas más grandes se puede nombrar un representante de un equipo de finanzas o planeación para ayudar al equipo de desarrollo a poner en práctica el análisis. Destacamos aquí que cuando alguien con estudios formales en modelos financieros toma la responsabilidad de este análisis, todo el equipo debe entender por completo el análisis e intervenir en su formulación y uso.

Proceso de un análisis económico

Recomendamos el siguiente método de cuatro pasos para el análisis económico del proyecto de desarrollo de un producto:

1. Construir el modelo financiero de un caso práctico.
2. Efectuar un análisis de sensibilidad para entender las relaciones entre éxito financiero y las suposiciones y variables clave del modelo.
3. Usar el análisis de sensibilidad para entender acuerdos del proyecto.
4. Considerar la influencia de los factores cualitativos en el éxito del proyecto.

El resto de este capítulo analiza estos cuatro pasos.

Paso 1: Construir el modelo financiero de un caso práctico

La construcción del modelo de un caso práctico consiste en estimar los tiempos y magnitud de flujos de dinero futuros y luego calcular el valor presente neto (VPN) de esos flujos de dinero.

Estimar los tiempos y magnitud de entradas y salidas futuras de dinero

Los tiempos y magnitud de los flujos de dinero se estiman al unir el calendario del proyecto con el presupuesto del proyecto y los pronósticos de volumen de ventas, y estimando costos de producción. El nivel de detalle de flujos de dinero debe ser bastante aproximado para ser cómodo de trabajar, pero debe contener suficiente resolución para facilitar una eficaz toma de decisiones. Las categorías básicas de flujo de dinero para un proyecto típico de desarrollo de un nuevo producto son:

- Costo del desarrollo (el diseño, prueba y refinamiento restantes ascienden al costo de inicio de producción).
- Costo de inicio.
- Costo de mercadotecnia y soporte.
- Costo de producción.
- Ingresos por ventas.

Dependiendo de los tipos de decisiones que el modelo apoyará, es posible que se hagan necesarios niveles más grandes de detalle para uno o más campos de acción. En la elaboración de modelos más detallados se pueden considerar con mayor detalle estos mismos cinco flujos de dinero, o se pueden considerar otros flujos. Los refinamientos típicos incluyen:

- Análisis de costos de producción en costos directos y costos indirectos (es decir, gastos indirectos).
- Análisis de costos de mercadotecnia y soporte en costos de lanzamiento, costos de promoción, costos directos de ventas y costos de servicio.
- Inclusión de efectos de impuesto, incluyendo créditos de impuesto por depreciación e inversión. (Por lo general, los efectos de impuesto se consideran incluso en modelado financiero simple pero, para mayor claridad, omitimos los efectos de impuesto en nuestros ejemplos.)
- Inclusión de entradas y salidas diversas como son las necesidades de capital de trabajo, aprovechamiento (el efecto del nuevo producto sobre ventas de un producto existente), costos de rescate y costos de oportunidad.

1. Costo de desarrollo	$5 millones
2. Costo de arranque	$2 millones
3. Costo de mercadotecnia y soporte	$1 millón/año
4. Costo unitario de producción	$400/unidad
5. Ventas y volumen de producción	20 000 unidades/año
6. Precio unitario	$800/unidad

FIGURA 17-3 Presupuestos, pronósticos de volumen de ventas y costos de producción para el proyecto de la CI-700.

El modelo financiero que usamos en este capítulo se simplifica para incluir sólo flujos importantes de dinero que sean típicamente considerados en la práctica, pero desde el punto de vista conceptual es idéntico a modelos más complejos. Los valores numéricos de flujos de dinero provienen de presupuestos y de otras estimaciones obtenidas por el equipo de desarrollo, de la organización de manufactura y de la organización de mercadotecnia. La figura 17-3 muestra las estimaciones financieras relevantes para la CI-700 (estos datos han sido disfrazados para proteger la información financiera propietaria de Polaroid). Para un examen más detallado de costos de manufactura vea el capítulo 13, Diseño para manufactura. Nótese que todos los ingresos y gastos a la fecha son *costos vencidos* y son irrelevantes para cálculos del valor presente neto (VPN). (El concepto de costos vencidos se revisa en el apéndice A.)

Para completar el modelo, las estimaciones financieras deben unirse a la información de tiempos o programación, lo cual puede hacerse si se considera el programa de proyecto y plan de ventas. La figura 17-4 muestra información de la programación del proyecto en gráfica de Gantt para la CI-700. (Para casi todos los proyectos es más apropiado un incremento de meses o trimestres.) El tiempo restante para ventas se estima que es de cinco trimestres y las ventas del producto se anticipa que duren 11 trimestres.

	Año 1				**Año 2**				**Año 3**				**Año 4**			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Desarrollo																
Arranque																
Mercadotecnia y soporte																
Ventana de producción y ventas																

FIGURA 17-4 Programa para el proyecto CI-700 desde el principio hasta el retiro del mercado.

Un método común de representar un flujo de dinero para el proyecto es una tabla, donde las filas son diferentes categorías de flujo de dinero y las columnas representan periodos sucesivos; usualmente, esta tabla se codifica en una hoja de cálculo para facilitar el análisis. Para este ejemplo suponemos que el ritmo de flujo de dinero para cualquier categoría es constante en cualquier periodo (por ejemplo el gasto total de desarrollo de 5 millones de dólares en un año se asignó igualmente a cada uno de los cuatro trimestres); no obstante, los valores se pueden distribuir en cualquier forma que mejor represente el pronóstico del equipo en cuanto a los flujos de efectivo. Multiplicamos la cantidad unitaria de ventas por el precio unitario para hallar los ingresos totales del producto en cada periodo. También multiplicamos la cantidad unitaria de producción por el costo unitario de producción para hallar el costo total de producción en cada periodo. La figura 17-5 ilustra la tabla resultante.

Calcular el valor presente neto de los flujos de dinero

Calcular el valor presente neto (VPN) requiere que se determine el flujo de dinero neto para cada periodo y luego que este flujo de dinero se convierta a su valor presente (su valor en dólares de hoy), como se ve en la figura 17-6. Considere, por ejemplo, los cálculos para el año 3, primer trimestre:

1. El flujo de dinero del periodo es la suma de entradas y salidas:

Costo de mercadotecnia	$ –250 000
Ingresos por venta de productos	4 000 000
Costo de producción	–2 000 000
Flujo de dinero del periodo	$1 750 000

2. El valor presente de este flujo de dinero del periodo descontado a 10 por ciento anual (2.5 por ciento por trimestre) hasta el primer trimestre del año 1 (un total de ocho trimestres) es de 1 436 306 dólares. (Los conceptos de *valor presente, valor presente neto* y *tasa de descuento* se revisan en el apéndice A.)

$$\frac{\$1\ 750\ 000}{1.025^8} = \$1\ 436\ 306$$

	Año 1				**Año 2**				**Año 3**				**Año 4**			
(Valores en miles de $)	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Costo de desarrollo	–1 250	–1 250	–1 250	–1 250												
Costo de arranque				–1 000	–1 000											
Costo de mercadotecnia y soporte					–250	–250	–250	–250	–250	–250	–250	–250	–250	–250	–250	–250
Costo de producción						–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000
Volumen de producción						5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000
Costo unitario de producción						–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4
Ingreso por ventas						4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000
Volumen de ventas						5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000
Precio unitario						0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

FIGURA 17-5 Unión de aspectos financieros y programa del proyecto en una tabla de flujo de efectivo (en esta tabla y las siguientes todos los valores en dólares son en miles).

	Año 1				Año 2				Año 3				Año 4			
(Valores en miles de $)	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Costo de desarrollo	–1 250	–1 250	–1 250	–1 250												
Costo de arranque				–1 000	–1 000											
Costo de mercadotecnia y soporte					–250	–250	–250	–250	–250	–250	–250	–250	–250	–250	–250	–250
Costo de producción						–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000
Volumen de producción						5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000
Costo unitario de producción						–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4
Ingreso por ventas						4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000
Volumen de ventas						5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000
Precio unitario						0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Flujo de dinero del periodo	–1 250	–1 250	–1 250	–2 250	–1 250	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750
VP año 1, r = 10%	–1 250	–1 220	–1 190	–2 089	–1 132	1 547	1 509	1 472	1 436	1 401	1 367	1 334	1 301	1 269	1 239	1 208
VPN del proyecto	**8 203**															

FIGURA 17-6 Totales de flujos de dinero, valores presentes y valor presente neto.

3. El valor presente neto del proyecto es la suma de los flujos de dinero descontados para cada uno de los periodos, o sea 8 203 000 dólares. (Aquí y en el resto del capítulo redondeamos cantidades financieras a los mil dólares más cercanos.)

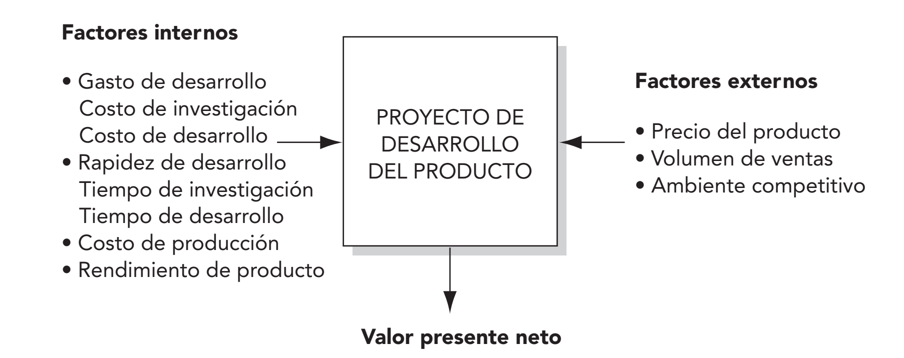
El modelo financiero de caso práctico puede apoyar decisiones de pasa/no pasa y decisiones de inversión mayor

El VPN de este proyecto, de acuerdo con el modelo de caso práctico, es positivo, de modo que el modelo apoya y es consistente con la decisión de continuar con el desarrollo. Este modelado también se puede usar para apoyar decisiones importantes de inversión. Digamos, por ejemplo, que Polaroid tiene que decidir entre dos plantas de producción con diferentes costos de arranque, producción y apoyo. El equipo podría desarrollar un modelo para cada una de las dos situaciones y luego comparar los VPN. El escenario con el VPN más alto apoyaría mejor a la decisión de inversión. Ahora consideramos el análisis de sensibilidad como técnica para entender fácilmente situaciones múltiples para decisiones en curso del desarrollo de un producto.

Paso 2: Efectuar análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad utiliza el modelo financiero para contestar preguntas de "qué pasa si" al calcular el cambio en VPN correspondiente a un cambio en los factores incluidos en el modelo. Factores internos y externos influyen en el valor del proyecto. Los *factores internos* son aquellos sobre los que el equipo de desarrollo tiene un alto grado de influencia, e incluyen gastos del programa de desarrollo, rapidez del desarrollo, costo de producción y rendimiento del producto. Los *factores externos* son aquellos que el equipo no puede cambiar de manera

FIGURA 17-7 Factores clave que influyen en la rentabilidad del desarrollo del producto.



arbitraria, incluyendo el ambiente de la competencia (por ejemplo respuesta de mercado, acciones de competidores), volumen de ventas y precio de producto. (Puede haber desacuerdo en si el precio es un factor interno o externo. En cualquiera de estos casos, hay poco desacuerdo en que el precio es fuertemente influido por los precios de productos de la competencia y que está acoplado al volumen de ventas.) Si bien los factores externos no son directamente controlados por equipos de desarrollo del producto, a veces son influenciados por factores internos. Los factores externos e internos se presentan en la figura 17-7.

Ejemplo de costo de desarrollo

Como primer ejemplo consideremos la sensibilidad del valor presente neto (VPN) a cambios en el costo de desarrollo. Al hacer cambios incrementales al costo de desarrollo al mismo tiempo que mantenemos constantes otros factores, podemos ver el efecto incremental sobre el VPN del proyecto. Por ejemplo, ¿cuál será el cambio en VPN si el costo de desarrollo se reduce 20 por ciento? Una reducción de 20 por ciento bajaría el gasto total de desarrollo de cinco a cuatro millones de dólares. Si el tiempo de desarrollo continúa durante un año, entonces el gasto por trimestre disminuiría de 1.25 millones a un millón. Este cambio simplemente se introduce en el modelo y se calcula el VPN resultante. Este cambio en el modelo de caso práctico de la CI-700 se ve en la figura 17-8.

	Año 1				**Año 2**				**Año 3**				**Año 4**			
(Valores en miles $)	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Costo de desarrollo																
Costo de arranque	–1 000	–1 000	–1 000	–1 000												
Costo de mercadotecnia y soporte				–1 000	–1 000											
Costo de producción					–250	–250	–250	–250	–250	–250	–250	–250	–250	–250	–250	–250
Volumen de producción						–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000
Costo unitario de producción						5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000
Ingreso por ventas						–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4
Volumen de ventas						4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000
Precio unitario						5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000
						0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Flujo de dinero del periodo																
VP año 1, r = 10%	–1 000	–1 000	–1 000	–2 000	–1 250	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750
	–1 000	–976	–952	–1 857	–1 132	1 547	1 509	1 472	1 436	1 401	1 367	1 334	1 301	1 269	1 239	1 208
VPN del proyecto	**9 167**															

FIGURA 17-8 Modelo financiero de la CI-700 con 20 por ciento de reducción en gasto de desarrollo.

Una disminución de 20 por ciento en el costo de desarrollo aumentará el VPN a 9 167 000 dólares. Esto representa un aumento en dólares de 964 000 y un aumento en porcentaje de 11.8 en VPN. Éste es un caso extremadamente simple: suponemos que podemos alcanzar los mismos objetivos del proyecto al gastar un millón menos en desarrollo y por lo tanto hemos aumentado el valor del proyecto por el valor presente de un millón en ahorros acumulados en un periodo de un año. El análisis de sensibilidad de costo de desarrollo de la CI-700 para una amplia variedad de cambios se ve en la figura 17-9. Los valores de la tabla se calculan al introducir los cambios correspondientes a cada situación en el modelo de caso práctico y observar los resultados. Con frecuencia es útil conocer los cambios absolutos en dólares en el VPN al igual que los cambios relativos en porcentaje, de modo que ambos se ven en la tabla de sensibilidad.

Ejemplo de tiempo de desarrollo

Como segundo ejemplo calculamos las sensibilidades del tiempo de desarrollo para el modelo CI-700. Considere el efecto en el VPN del proyecto de 25 por ciento de aumento en tiempo de desarrollo. Un aumento de 25 por ciento en tiempo de desarrollo sería de cuatro a cinco trimestres. Este aumento en tiempo de desarrollo también postergaría el inicio de producción, trabajo de mercadotecnia y ventas de producto. Para efectuar el análisis de sensibilidad debemos hacer varias suposiciones acerca de los cambios. Suponemos la misma cantidad total de costo de desarrollo, aun cuando aumentaremos el periodo sobre el que ocurre el gasto, bajando así el porcentaje de gasto de 1.25 millones a un millón por trimestre. También suponemos que hay una ventana fija para ventas que se inicia tan pronto como el producto entra al mercado y termina en el cuarto trimestre del año 4. En efecto, suponemos que podemos vender producto desde el tiempo en que podemos introducirlo hasta una fecha fija en el futuro. Nótese que estas suposiciones son únicas para este proyecto de desarrollo. Varios proyectos de desarrollo de un producto requerirían diferentes suposiciones según sea necesario. Por ejemplo, podríamos haber supuesto que la ventana de ventas simplemente cambia en un trimestre. El cambio del modelo financiero de la CI-700 se ve en la figura 17-10.

La figura 17-11 presenta sensibilidades del tiempo de desarrollo para una variedad de cambios. Podemos ver que un aumento de 25 por ciento en tiempo de desarrollo disminuirá el valor presente neto (VPN) a 6 764 000 dólares. Esto representa una reducción en VPN de 1 439 000 dólares o sea 17.5 por ciento.

Recomendamos que las sensibilidades se calculen para cada uno de los factores externos e internos, con excepción del ambiente de competencia, que no está explícitamente contenido

Cambio en costo de desarrollo, %	Costo de desarrollo, miles $	Cambio en costo de desarrollo, miles $	Cambio en VPN, %	VPN, miles de $	Cambio en VPN, miles $
50	7 500	2 500	–29.4	5 791	–2 412
20	6 000	1 000	–11.8	7 238	–964
10	5 500	500	–5.9	7 721	–482
base	5 000	base	0.0	8 203	0
–10	4 500	–500	5.9	8 685	482
–20	4 000	–1 000	11.8	9 167	964
–50	2 500	–2 500	29.4	10 615	2 412

FIGURA 17-9 Sensibilidades de costo de desarrollo de la CI-700.

	Año 1				Año 2				Año 3				Año 4			
(Valores en miles $)	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Costo de desarrollo	–1 000	–1 000	–1 000	–1 000	–1 000											
Costo de arranque					–1 000	–1 000										
Costo de mercadotecnia y soporte						–250	–250	–250	–250	–250	–250	–250	–250	–250	–250	–250
Costo de producción							–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000	–2 000
Volumen de producción							5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000
Costo unitario de producción							–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4	–0.4
Ingreso por ventas							4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000
Volumen de ventas							5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000
Precio unitario							0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Flujo de dinero del periodo	–1 000	–1 000	–1 000	–1 000	–2 000	–1 250	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750	1 750
VP año 1, r = 10%	–1 000	–976	–952	–929	–1 812	–1 105	1 509	1 472	1 436	1 401	1 367	1 334	1 301	1 269	1 239	1 208
VPN del proyecto	**6 764**															

FIGURA 17-10 Modelo financiero de la CI-700 con 25 por ciento de aumento en tiempo de desarrollo.

Cambio en tiempo de desarrollo, %	Tiempo de desarrollo, trimestres	Cambio en tiempo de desarrollo, trimestres	Cambio en VPN, %	VPN, miles $	Cambio en VPN, miles $
50	6	2	–34.6	5 363	–2 840
25	5	1	–17.5	6 764	–1 439
base	4	base	–0.0	8 203	0
–25	3	–1	18.0	9 678	1 475
–10	2	–2	36.4	11 190	2 987

FIGURA 17-11 Sensibilidades de tiempo de desarrollo de la CI-700.

en el modelo del caso práctico. Estos análisis de sensibilidad informan al equipo de cuáles factores del modelo tienen una considerable influencia en el VPN. Esta información es útil para ayudar al equipo a entender qué factores deben estudiarse con mayor detalle para refinar y mejorar el modelo de caso práctico. La información también es útil para apoyar las decisiones de operación del equipo, como se ve en el paso siguiente.

El análisis de sensibilidad muestra que el VPN depende en gran medida de las incertidumbres en algunos valores de entrada del caso práctico y menos de otras. Además, algunos valores de entrada para calcular el caso práctico son más inciertos que otros. Por ejemplo, el volumen de ventas pronosticado puede ser más incierto que el costo unitario de producción estimado. Al suponer un rango de valores altos y bajos para cualesquiera entradas inciertas en el análisis financiero, el equipo puede calcular diversos valores posibles de VPN. Se consideraría que los valores altos y bajos definen la amplitud dentro de la cual el equipo tiene gran confianza en que se ubicarán los resultados reales. Este análisis se resume en un diagrama de tornado que muestra el efecto de cada incertidumbre en el VPN.

Parámetro de modelo	Valor nominal miles de $	Valor mínimo	% de cambio	VPN resultante	% de cambio del VPN	Valor máximo	% de cambio	VPN resultante	% de cambio del VPN
Costo de desarrollo	−1 250	−1 000	−20	9 167	12	−1 500	20	7 239	−12
Costo de arranque	−1 000	−750	−25	8 662	6	−1 250	25	7 744	−6
Costo de mercadotecnia y soporte	−250	−200	−20	8 679	6	−325	30	7 488	−9
Volumen de ventas	5 000	2 500	−50	−417	−105	7 500	50	16 822	105
Costo unitario de producción	−0.4	−0.36	−10	9 927	21	−0.44	10	6 479	−21
Precio unitario	0.8	0.6	−25	−417	−105	0.8	0	8 203	0

FIGURA 17-12 Suposiciones sobre los valores mínimo y máximo de los parámetros del modelo y su efecto en el VPN.

En el caso de la CI-700, las incertidumbres más importantes abarcan la variedad de valores de entrada en la figura 17-12. Al cambiar estas entradas en el modelo una a la vez, con todo lo demás constante, se generan los cambios enlistados en el VPN. La figura 17-13 muestra estos resultados de forma gráfica como diagrama de tornado.

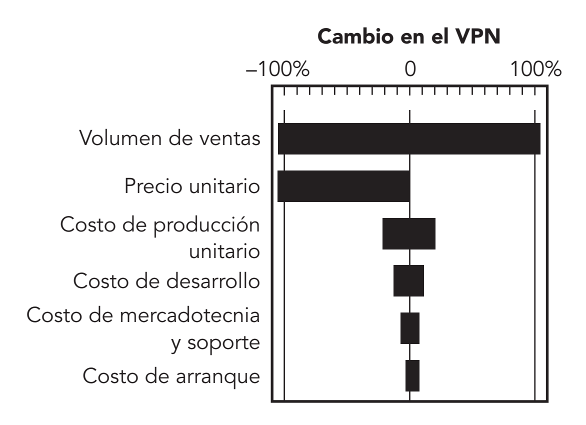


FIGURA 17-13 Diagrama de tornado que ilustra el porcentaje de cambio en el VPN con valores mínimo y máximo de algunos parámetros del modelo, como se enlistan en la figura 17-11. Los parámetros se presentan en orden de efecto decreciente, lo que da al diagrama su forma de tornado.

Paso 3: Use análisis de sensibilidad para entender compromisos de un proyecto

¿Por qué el equipo de desarrollo de un producto desearía cambiar los factores bajo su control? Por ejemplo, ¿por qué debe aumentarse el tiempo de desarrollo si el cambio baja el VPN del proyecto? En general, el equipo de desarrollo hará ese cambio sólo si se espera otra ganancia en compensación, por ejemplo un producto de mejor calidad con volúmenes más altos de ventas. Por lo tanto, necesitamos entender la magnitud relativa de estas interacciones financieras.

Seis interacciones potenciales

Los equipos de desarrollo tratan de manejar seis interacciones potenciales entre los factores que se mueven internamente; estas interacciones potenciales se ven en forma esquemática en la figura 17-14. La interacción potencial entre dos factores internos cualesquiera depende de las características del contexto del producto específico. En numerosos casos las interacciones son acuerdos. Por ejemplo, reducir el tiempo de desarrollo puede llevar a menor rendimiento del producto; más rendimiento del producto puede requerir más costo del producto, pero algunas de

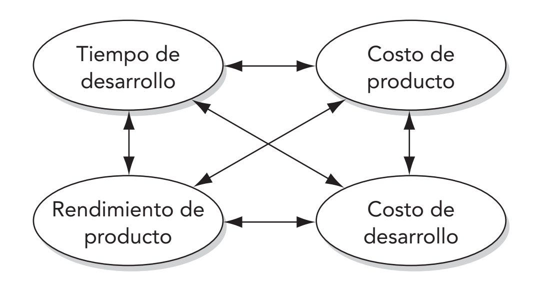


FIGURA 17-14 Interacciones potenciales entre factores que se mueven internamente.

estas interacciones son más complejas que un simple acuerdo. Por ejemplo, reducir el tiempo de desarrollo de un producto puede requerir un aumento en gasto en desarrollo, pero ampliar el tiempo de desarrollo también puede llevar a un aumento en costo si esta ampliación es causada por un retardo en un trabajo crítico más que en una ampliación planeada del calendario.

En general, estas interacciones son importantes por el eslabonamiento entre los factores internos y externos. Por ejemplo, aumentar el costo o el tiempo de desarrollo puede acrecentar el rendimiento del producto y por lo tanto incrementar el volumen de ventas o permitir precios más altos. Una reducción en el tiempo de desarrollo puede permitir que el producto llegue al mercado más pronto y así aumentar el volumen de ventas.

Si bien es cierto que un modelo preciso de factores motivados externamente (por ejemplo precio o volumen de ventas) suele ser muy difícil, el modelo cuantitativo puede, sin embargo, apoyar la toma de decisiones. Recuerde de nuestros ejemplos iniciales que el equipo de desarrollo de la CI-700 estaba considerando aumentar el gasto en desarrollo para desarrollar un producto de más alta calidad, que esperaban llevaría a un mayor volumen de ventas. El modelo cuantitativo puede apoyar esta decisión al responder la pregunta de cuánto tendría que aumentar el volumen de ventas para justificar el gasto adicional en desarrollo. Hemos calculado la sensibilidad del VPN a cambios en el costo de desarrollo (vea la figura 17-9). También podemos calcular la sensibilidad del VPN a cambios en volumen de ventas (figura 17-15). Digamos que el equipo de desarrollo de la CI-700 está considerando un aumento de 10 por ciento en costo de desarrollo. En la figura 17-9 vemos que este aumento en gasto reducirá el VPN en 5.9 por ciento.

Ahora, ¿qué aumento en volumen sería necesario para al menos compensar la reducción en VPN? De la figura 17-15 sabemos que un aumento de 10 por ciento en volumen de ventas aumentaría el VPN en 21 por ciento. Se deduce, bajo suposiciones de linealidad, que un aumento de 2.8 por ciento $\left(\frac{10 \cdot 5.9}{21.0}\right)$ en volumen de ventas aumentaría el VPN en 5.9 por ciento. Para resumir, un *aumento* de 10 por ciento en costo de desarrollo *reduciría* el VPN en 5.9 por ciento. Se requiere un *aumento* de 2.8 por ciento en volumen de ventas para compensar la caída. Si bien es cierto que no se conoce el efecto preciso del mayor gasto en desarrollo sobre el volumen de ventas, el modelo proporciona una guía útil para saber cuál magnitud de aumento en volumen de ventas es necesario para sostener aumentos particulares en costo de desarrollo.

Cambio en volumen de ventas, %	Volumen de ventas, miles $	Cambio en volumen de ventas	Cambio en VPN, %	VPN, miles $	Cambio en VPN, miles $
30	6 500	1 500	63.0	13 375	5 172
20	6 000	1 000	42.0	11 651	3 448
10	5 500	500	21.0	9 927	1 724
base	5 000	base	0.0	8 203	0
–10	4 500	–500	–21.0	6 479	–1 724
–20	4 000	–1 000	–42.0	4 755	–3 448
–30	3 500	–1 500	–63.0	3 031	–5 172

FIGURA 17-15 Sensibilidades de volumen de ventas de la CI-700.

Factor	Regla para acuerdo	Comentarios
Tiempo de desarrollo	$480 000 por cambio de mes	Supone una ventana fija de oportunidad para ventas.
Volumen de ventas	$1 724 000 por cambio de 10%	Aumentar ventas es una poderosa forma de aumentar utilidades; 10% es 500 unidades/trimestre.
Costo de producto o precio de ventas	$43 000 por cambio de $1 en costo o precio	Un aumento de $1 en precio o una disminución de $1 en costo; cada uno resulta en un aumento de $1 en márgenes de utilidad unitaria.
Costo de desarrollo	$482 000 por cambio de 10%	Un dólar gastado o ahorrado en desarrollo bien vale el valor presente de ese dólar; 10% es $500 000.

FIGURA 17-16 Reglas para acuerdos para el proyecto de la CI-700.

Reglas para acuerdos

La cercana linealidad de numerosos análisis de sensibilidad permite al equipo calcular algunas *reglas para acuerdos* a fin de informar de la toma diaria de decisiones. Estas reglas toman la forma del costo por cambio unitario en los factores internos y externos. Por ejemplo, ¿cuál es el costo de una demora de un mes en tiempo de desarrollo? ¿Cuál es el costo de 10 por ciento superior en la cantidad presupuestada para el desarrollo? ¿Cuál es el costo de un aumento de un millón de dólares por unidad en el costo de manufactura? Las reglas para acuerdos se calculan fácilmente a partir del modelo de caso práctico y se pueden usar para informar al equipo de la relativa magnitud de las sensibilidades de la rentabilidad del proyecto en factores bajo su control. La figura 17-16 contiene las reglas para la CI-700.

Las reglas para acuerdos informan de las preguntas originales planteadas en la introducción del capítulo. El equipo decidió que esperar un software que permitiera usar la impresora con los sistemas operativos Apple Macintosh y Microsoft Windows retardaría en dos meses la introducción del producto. Se calculó que la demora tendría un costo aproximado de 960 000 dólares. En lugar de esperar, el equipo razonó que podría introducir el producto antes de que todos los controladores de impresoras estuvieran disponibles, siempre y cuando los controladores se ofrecieran tan pronto como estuvieran listos. El equipo de desarrollo de medios de Polaroid estimó que el desarrollo de una nueva impresora en promedio costaría más de un millón y tardaría cuando menos un año. El equipo decidió que estas sanciones en tiempo y presupuesto no garantizaban el aumento marginal en tamaño de impresión y calidad que serían posibles con el nuevo medio. Finalmente, el equipo pensó que la confiabilidad del producto podría mejorarse en forma considerable con la adición de sólo un ingeniero y un técnico al equipo. Se esperaba que el costo adicional sería de casi 100 000 dólares para el resto del proyecto. El equipo observó que tendrían que aumentar ventas en sólo 0.6 por ciento para justificar esta inversión. La confiabilidad fue identificada como una necesidad clave del cliente, por lo que el equipo resolvió buscar con más decisión una mayor confiabilidad.

Limitaciones de un análisis cuantitativo

El modelado financiero y el análisis de sensibilidad son herramientas poderosas para apoyar las decisiones de desarrollo de un producto, pero estas técnicas tienen importantes limitacio-

nes. Una escuela de pensamiento cree que se hacen necesarios rigurosos análisis financieros para llevar disciplina y control al proceso de desarrollo de un producto. No obstante, los detractores afirman que el análisis cuantitativo sufre algunos de los siguientes problemas:

- ***Se enfoca sólo en cantidades medibles.*** Las técnicas cuantitativas como el valor presente neto (VPN) destacan y se apoyan en aquello que es medible. No obstante, numerosos factores críticos que repercuten en proyectos de desarrollo de un producto son difíciles de medir con precisión. En efecto, las técnicas cuantitativas estimulan la inversión en activos fijos medibles y recomiendan que no se invierta en activos intangibles.
- ***Depende de la validez de suposiciones y datos.*** Los equipos de desarrollo pueden calmarse con seguridad por el resultado aparentemente preciso de un cálculo del VPN. En apariencia, los análisis financieros como los que hemos presentado en este capítulo dan estimaciones precisas del valor del proyecto de desarrollo de un producto. No obstante lo anterior, *esa precisión en ninguna forma implica exactitud.* Podemos desarrollar un modelo financiero sumamente refinado de un proyecto de desarrollo que calcule el VPN del proyecto hasta el quinto lugar decimal; pero si las suposiciones y datos de nuestro modelo no son correctos, el valor calculado no será correcto. Considere la suposición de una ventana fija de ventas de un producto, del ejemplo de sensibilidad del tiempo de desarrollo de la CI-700. Esta suposición fue útil, pero su integridad puede cuestionarse con facilidad. De hecho, una suposición diferente daría resultados mucho muy diferentes.
- ***La burocracia reduce la productividad.*** Los detractores de un análisis financiero dicen que estas actividades dan un alto nivel de planeación y control a costa de la productividad del desarrollo de un producto. De acuerdo con los detractores, una extensa planeación y revisión garantiza que un producto concebido de manera brillante y bien diseñado llegará al mercado después que su ventana de mercado se haya cerrado. Los detractores también dicen que las técnicas de administración “profesional” aplicadas con excesivo celo sofocan el proceso de desarrollo de un producto. Un tiempo de desarrollo potencialmente productivo se dedica a la elaboración de análisis y reuniones. El efecto acumulativo de esta planeación y revisión puede ser un proceso de desarrollo que aumenta con gran rapidez.

Estas preocupaciones suelen ser bastante válidas pero, en nuestra opinión, están principalmente asociadas con la aplicación ciega de los resultados del análisis cuantitativo o surgen de la combinación de un análisis financiero con una burocracia sofocante. Rechazamos la noción de que un análisis cuantitativo debe hacerse sólo porque pueden surgir problemas de la aplicación ciega de los resultados. En lugar de eso, los equipos de desarrollo deben entender los puntos fuertes y las limitaciones de las técnicas y deben estar atentos a la forma en que los modelos funcionan y en qué suposiciones se basan. Además, el análisis cualitativo, como se explica en la sección siguiente, puede remediar algunas de las debilidades inherentes de las técnicas cuantitativas.

Paso 4: Considere la influencia de los factores cualitativos en el éxito de un proyecto

Numerosos factores que influyen en proyectos de desarrollo son difíciles de cuantificar porque son complejos o inciertos. Nos referimos a esos factores como *cualitativos*. Después de dar un marco conceptual para el análisis cualitativo, usamos ejemplos de la CI-700 para ilustrar la forma en que se realiza un análisis.

Considere las siguientes preguntas acerca del proyecto de la CI-700: ¿El conocimiento adquirido del desarrollo de la CI-700 abundará y será de beneficio para otros proyectos de desarrollo de la Polaroid? ¿Cómo reaccionarán los competidores a la introducción de la CI-700? ¿Los competidores modificarán sus propios trabajos de desarrollo en respuesta a las acciones de la Polaroid? ¿Habrá fluctuaciones importantes en la tasa de cambio dólar/yen que modificarían el costo de piezas componentes?

Nuestro modelo cuantitativo de manera implícita toma en cuenta éstos y otros problemas con varias suposiciones generales. El modelo supone que las decisiones tomadas por el equipo de proyecto no afectan acciones de equipos externos al proyecto, o alternativamente que las fuerzas externas no cambian las acciones del equipo. Esta importante suposición de nuestro modelo es común a muchos otros modelos financieros y se denomina suposición *ceteris paribus* (otras cosas siendo iguales).

Los proyectos interactúan con la empresa, el mercado y el ambiente macro

Las decisiones tomadas dentro de un proyecto en general tienen consecuencias importantes para la empresa considerada como un todo, para competidores y clientes en el mercado y para el ambiente macroeconómico donde opera el mercado (figura 17-17). Asimismo, eventos y acciones fuera de un proyecto de desarrollo con frecuencia repercuten en su valor. El análisis cualitativo se concentra principalmente en estas interacciones. El método más elemental del análisis cualitativo es considerar 1) las interacciones entre el proyecto y la empresa considerada como un todo, 2) las interacciones entre el proyecto y el mercado en el que se venderá el producto y 3) las interacciones entre el proyecto y el ambiente macro.

Interacciones entre el proyecto y la empresa considerada como un todo

Una suposición incrustada en el modelo cuantitativo es que la utilidad de la empresa se maximiza si la utilidad del proyecto se maximiza. No obstante, las decisiones de desarrollo deben tomarse en el contexto de la empresa considerada como un todo. Las dos interacciones clave entre el proyecto y la empresa son *externalidades* y *ajuste estratégico.*

- ***Externalidades:*** Una externalidad es un costo o beneficio "sin precio" impuesto en una parte de la empresa por las acciones de su segunda parte; los costos se conocen como externalidades negativas y los beneficios como externalidades positivas. Como ejemplo de una externalidad positiva, el aprendizaje de desarrollo de un proyecto puede beneficiar a otros proyectos actuales o futuros, aunque es pagado por el primer proyecto. ¿Cómo deben los otros proyectos compensar tales beneficios ganados sin ningún costo adicional? ¿Cómo debe el primer proyecto compensar los recursos gastados que benefician no sólo al primer proyecto, sino también a otros proyectos actuales o futuros?
- ***Ajuste estratégico:*** Las decisiones del equipo de desarrollo no deben sólo beneficiar al proyecto, sino también ser consistentes con el plan general de productos de la empresa y con la estrategia de tecnología. Por ejemplo, ¿qué tan bien se ajusta un nuevo producto, tecnología o artículo con los recursos y objetivos de la

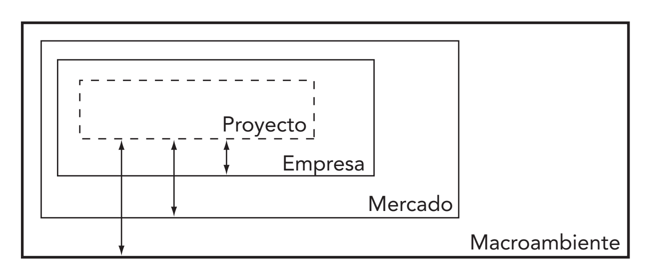


FIGURA 17-17 El contexto más general de un proyecto de desarrollo.

empresa? ¿Es compatible con el énfasis de la empresa en excelencia técnica? ¿Es compatible con el énfasis de la empresa en que debe ser único?

Debido a su complejidad e incertidumbre, las externalidades y ajuste estratégico son muy difíciles de cuantificar, lo cual no significa que estos problemas no deban considerarse; más bien deben ser considerados cualitativamente. Vea en el capítulo 4, Planeación del producto, un examen de algunos problemas de planeación estratégica que van en contra de múltiples proyectos.

Interacciones entre el proyecto y el mercado

Hemos modelado en forma explícita sólo precio y volumen como los factores clave externamente motivados. En efecto, hemos mantenido constantes las acciones y reacciones del mercado. Para modelar con precisión el valor de un proyecto debemos relajar la suposición *ceteris paribus* (otras cosas siendo iguales) para reconocer que las decisiones de un equipo de desarrollo repercuten en el mercado y que los eventos del mercado inciden en el proyecto de desarrollo. El ambiente de mercado se ve afectado por las acciones no sólo del equipo de desarrollo sino también por la de otros tres grupos:

- ***Competidores:*** Los competidores pueden ofrecer productos en competencia directa o productos que compitan de manera indirecta como sustitutos.
- ***Clientes:*** Las expectativas, ingresos o gustos de los clientes pueden cambiar. Los cambios pueden ser independientes o pueden ser motivados por nuevas condiciones en mercados para productos complementarios o sustitutos.
- ***Proveedores:*** Los proveedores de insumos para el nuevo producto están sujetos a las presiones de competencia de sus propios mercados. Estas presiones pueden, por medio de la cadena de valor, repercutir indirectamente en el nuevo producto.

Las acciones y reacciones de estos equipos con frecuencia inciden en el precio y volumen esperados, pero también pueden tener efectos de segundo orden. Por ejemplo, considere un nuevo competidor que tiene ciclos rápidos de desarrollo de un producto y que parece valorar su participación de mercado en lugar de obtener rentabilidad a corto plazo. Es evidente que la entrada de ese nuevo competidor cambiaría nuestro precio y volumen esperados. Además, podemos tratar de acelerar nuestro trabajo de desarrollo en respuesta. Por lo tanto, las acciones del competidor pueden incidir no sólo en nuestros pronósticos de volumen de ventas, sino también en nuestro calendario de desarrollo.

Interacciones entre el proyecto y el ambiente macro

Debemos relajar la suposición de *ceteris paribus* para tomar en cuenta factores clave macro:

- ***Cambios económicos importantes:*** Ejemplos de cambios económicos importantes típicos que afectan el valor de proyectos de desarrollo son variaciones en tasas de cambio de monedas extranjeras, precios de materiales o costos de mano de obra.
- ***Regulaciones gubernamentales:*** Nuevas regulaciones pueden destruir una oportunidad de desarrollo de un producto. Por otra parte, un cambio en la estructura reguladora de una industria también puede producir toda una nueva industria.
- ***Tendencias sociales:*** Al igual que con las regulaciones gubernamentales, las nuevas preocupaciones sociales como, por ejemplo, mayor conciencia por el cuidado del medio ambiente también pueden destruir industrias existentes o crear nuevas.

Los factores macro pueden tener efectos importantes en el valor de un proyecto de desarrollo. No obstante, estos efectos son difíciles de modelar en forma cuantitativa por su complejidad e incertidumbre inherentes.

El equipo de desarrollo de producto para la CI-700 enfrentó numerosos problemas cualitativos durante el desarrollo del producto. Aquí presentamos tres de los problemas cualitativos clave que el equipo de la Polaroid encontró y describimos las secuelas de estos problemas en el proyecto. Los ejemplos ilustran no sólo las limitaciones de análisis cuantitativo sino también la importancia de un análisis cualitativo.

Realización de un análisis cualitativo

Para casi todos los equipos de proyecto, el método más apropiado de análisis cualitativo es simplemente considerar y examinar las interacciones entre el proyecto y la empresa, el proyecto y el mercado, así como el proyecto y el ambiente macro. Entonces el equipo considera estas interacciones en conjunto con los resultados del análisis cuantitativo para determinar el énfasis relativo más apropiado en la rapidez de desarrollo, gasto de desarrollo, costo de manufactura y rendimiento del producto. A continuación damos tres ejemplos del análisis cualitativo para la CI-700.

Si bien pensamos que este método informal es más apropiado para decisiones tomadas al nivel del equipo de proyecto, existen técnicas más estructuradas, incluyendo análisis estratégicos, teoría de juego y técnicas de análisis de situaciones. Las referencias para cada una de estas técnicas se incluyen en la bibliografía.

Ejemplo 1: Disminución en el precio de un producto sustituto

Las impresoras láser en color son un producto sustituto de la CI-700. Además que las impresoras láser en color son más costosas que la CI-700, limitan el potencial de mercado de la CI-700 al poner un techo en el precio que Polaroid puede cargar. Durante el desarrollo de la CI-700, los fabricantes de impresoras láser en color lograron varios adelantos tecnológicos importantes. Los avances permitieron a los fabricantes ofrecer impresoras láser en color a precios considerablemente menores. El equipo de Polaroid se enfrentó con un cambio en el ambiente competitivo que fue causado por otros y que invalidó suposiciones fundamentales del modelo financiero de la CI-700.

En este ejemplo es evidente que el proyecto de la CI-700 no se puede considerar en forma aislada. Los pronósticos originales de volumen de ventas incorporaban suposiciones implícitas acerca del mercado de impresoras láser en color, pero las suposiciones fueron invalidadas por avances en tecnología de impresoras láser en color. Mientras que el adelanto de las impresoras láser en color hubiera sido difícil de predecir, un análisis cuantitativo ayudó al equipo de desarrollo de la CI-700 a entender la sensibilidad del valor del proyecto para este desarrollo. Con el uso del modelo para estimar la sensibilidad del valor presente neto (VPN) a cambios en volumen de ventas, el equipo pudo rápidamente captar la magnitud del cambio en valor de proyecto. La combinación de análisis cuantitativo y cualitativo convenció al equipo de moverse con mayor rapidez y reducir más el costo del producto para que el proyecto siguiera siendo viable.

Ejemplo 2: Mayor competencia en un mercado complementario de producto

La demanda para la CI-700 está estrechamente unida a los precios de computadoras personales (PC). Se dice que éstas son productos complementarios de la CI-700 porque una reducción en el precio de las PC aumenta la demanda para la CI-700. Las PC más baratas aumentan sus ventas y

permiten a los compradores darse el lujo de adquirir más productos periféricos como la CI-700. Así, una reducción en el precio de las PC aumentaría el valor del proyecto de la CI-700.

Durante el proyecto de desarrollo de la CI-700, la intensa competencia en el mercado de las PC aumentó más con nuevas entradas y rápido desarrollo tecnológico. El equipo de la Polaroid se enfrentó a un cambio en el ambiente competitivo por su producto. Un análisis cuantitativo ayudó al equipo de desarrollo de la CI-700 a entender la forma en que se afectaba el valor del proyecto. Con el uso del modelo para estimar la sensibilidad del VPN a cambios en volumen de ventas, el equipo pudo rápidamente entender la magnitud del cambio en valor de proyecto, del cual esperaban que parcialmente desviaría la presión de los precios en caída para impresoras en color.

Ejemplo 3: El valor de la "opción" de crear un buen producto plataforma

La CI-700 fue el primer producto de su clase producido por Polaroid y el equipo de desarrollo reconoció que muchas de sus decisiones de desarrollo incidirían en potenciales generaciones futuras de la línea del producto. Por ejemplo, la facilidad con que productos de generaciones futuras podrían construirse alrededor de la misma plataforma dependía de las decisiones de diseño tomadas en el proyecto de la CI-700. El equipo podría escoger aumentar el gasto en el desarrollo, así como tiempo de desarrollo, para facilitar el desarrollo de productos potenciales de una generación futura, incluso si al hacerlo no tendría sentido económico en el contexto de un solo producto. Escogieron, no obstante, seguir adelante rápidamente con la CI-700 sin esfuerzos extremos para contener modelos futuros. El argumento fue que el futuro del mercado era tan incierto que el riesgo de no llegar a tiempo al mercado rebasaba la utilidad potencial del producto como plataforma para productos futuros.

Resumen

Los equipos de desarrollo de un producto deben tomar muchas decisiones en el curso de un proyecto de desarrollo. El análisis económico es una herramienta útil para apoyar esta toma de decisiones.

- El método consta de cuatro pasos:
  1. Construir un modelo financiero de caso práctico.
  2. Realizar un análisis de sensibilidad para entender las relaciones entre éxito financiero y las suposiciones y variables clave del modelo.
  3. Usar el análisis de sensibilidad para entender acuerdos de proyecto.
  4. Considerar la influencia de factores cualitativos en el éxito de un proyecto.
- Un análisis cuantitativo que usa técnicas de valor presente neto (VPN) se practica ampliamente en negocios. La técnica obliga a equipos de desarrollo de un producto a ver objetivamente sus proyectos y sus decisiones. Como mínimo, deben pasar por el proceso de crear calendarios y presupuestos realistas del proyecto. El modelado financiero contiene un método para entender cuantitativamente los controles clave de utilidades del proyecto.
- Técnicas cuantitativas como son el modelado y análisis financieros se apoyan en suposiciones acerca del ambiente externo. Este ambiente está cambiando constantemente y puede ser influido por las decisiones de un equipo de desarrollo o por otros factores no

controlables. Además, el análisis cuantitativo, por su misma naturaleza, considera sólo lo que es mensurable, aun cuando muchos factores clave que influyen en el proyecto son altamente complejos o inciertos y por lo tanto son difíciles de cuantificar.

- El análisis cuantitativo destaca la importancia de esos problemas difíciles de cuantificar al preguntar específicamente cuáles son las interacciones entre el proyecto y el resto de la empresa, el mercado y el ambiente macro.
- Juntas, las técnicas cuantitativas y cualitativas pueden ayudar a asegurar que el equipo tome decisiones de desarrollo económicamente razonables.

Referencias y bibliografía

Existen numerosos recursos actuales en internet **www.ulrich-eppinger.net**

Bayus hace un análisis interesante de acuerdos que comprenden tiempo de desarrollo y factores de rendimiento de un producto.

Bayus, Barry L., "Speed-to-Market and New Product Performance Trade-offs", *Journal of Product Innovation Management*, vol. 14, 1997, pp. 485-497.

Para una revisión completa de técnicas de flujo de dinero descontado, así como teoría de opciones desde una perspectiva financiera general, vea el texto clásico sobre finanzas corporativas.

Brealey, Richard A., Stewart C. Myers, y Franklin Allen, *Principles of Corporate Finance*, 9a. ed., McGraw-Hill, Nueva York, 2008.

Smith y Reinertsen incluyen un examen completo de cómo modelar la economía del tiempo de desarrollo.

Smith, Preston G., y Donald G. Reinertsen, *Developing Products in Half the Time*: *New Rules, New Tools*, 2a. ed., Wiley, Nueva York, 1997.

La literatura de administración ha criticado a escuelas de administración y programas de MBA por su falta de relevancia. En particular, las MBA son criticadas porque se apoyan en técnicas cuantitativas, como el flujo de dinero descontado. Éste es un caso práctico interesante que revisa estos problemas.

Linder, Jane C., y H. Jeff Smith, "The Complex Case of Management Education", *Harvard Business Review*, septiembre-octubre de 1992, pp. 16-33.

Las técnicas de análisis estratégico de Michael Porter se han convertido en normas para estudiantes de escuelas de administración. Su texto de 1980 sobre análisis estratégico ha sido de gran influencia. En su libro de 1985, Porter presenta un método estructurado general para el análisis de situaciones, una técnica originalmente desarrollada por Royal Dutch Shell para planear bajo incertidumbre.

Porter, Michael E., *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*, The Free Press, Nueva York, 1980.

Porter, Michael E., *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*, The Free Press, Nueva York, 1985.

La teoría del juego se puede usar para analizar interacciones de la competencia. Oster ofrece un panorama del análisis estratégico y teoría del juego desde una perspectiva microeconómica:

Oster, Sharon M., *Modern Competitive Analysis,* 3a. ed., Oxford University Press, Nueva York, 1999.

Copeland y Antikarov dan un tratamiento detallado de *opciones reales* y análisis de proyectos con incertidumbre y puntos de decisión.

Copeland, Tom, y Vladimir Antikarov, *Real Options: A Practitioner's Guide*, Texere, Nueva York, 2003.

Ejercicios

1. Haga una lista de cinco razones por las cuales algunas empresas pueden escoger buscar un producto incluso si el análisis cuantitativo revela un valor presente neto negativo.
2. Construya un modelo cuantitativo para analizar el desarrollo y venta de una luz para bicicleta. Suponga que usted pudiera vender 20 000 unidades por año durante cinco años a un precio de venta (mayoreo) de 20 dólares por unidad y un costo de manufactura de 10 dólares por unidad. Suponga que los gastos de arranque de producción serían de 20 000 dólares, los costos de mercado y apoyo en curso serían 2 000 dólares por mes, y el desarrollo tomaría otros 12 meses. ¿Cuánto gasto en desarrollo justificaría ese proyecto?
3. Calcule las reglas de acuerdos para el caso descrito en el ejercicio 2.
4. Revise el diagrama de tornado de la figura 17-13 para demostrar el efecto de un aumento en el tiempo de desarrollo. Suponga que, en el tiempo de desarrollo, el cambio mínimo es cero y que el cambio máximo es un aumento de un trimestre.

Preguntas de análisis

1. ¿Puede usted considerar productos exitosos que nunca hubieran sido desarrollados si sus creadores se hubieran apoyado exclusivamente en un modelo financiero cuantitativo para justificar sus esfuerzos? ¿Estos productos comparten alguna característica?
2. Un modelo del efecto de una demora en la introducción de un producto es que las ventas simplemente se corren más adelante en el tiempo. Otro modelo es que parte de las ventas se muevan fuera de la “ventana de oportunidad” y se pierdan para siempre. ¿Puede sugerir otros modelos para las implicaciones de una ampliación del tiempo de desarrollo del producto? ¿Es benéfica esa ampliación?
3. ¿Cómo usaría usted el método de análisis cuantitativo para captar el rendimiento económico de toda una línea de productos a desarrollar e introducir en varios años?

Apéndice A

Valor del dinero en tiempo y la técnica del valor presente neto

Este apéndice contiene un material didáctico básico sobre el valor presente neto para quienes no estén familiarizados con este concepto.

El valor presente neto (VPN) es un concepto intuitivo y poderoso. En esencia, el VPN es simplemente un reconocimiento del hecho de que un dólar hoy vale más que un dólar mañana. Los cálculos del VPN evalúan el valor hoy (*valor presente*) de algún ingreso o gasto futuro. Digamos que un banco dará una *tasa de interés* de 8 por ciento por periodo (el periodo podría ser un mes, un trimestre o un año). Si invertimos 100 dólares hoy durante un periodo a una tasa de 8 por ciento, ¿cuánto pagará el banco después de un periodo? Si r es la tasa de interés y C es la cantidad invertida, entonces la cantidad recibida después de un periodo es

$$(1 + r) \times C = (1 + 0.08) \times 100 = (1.08) \times 100 = \$108$$

Por lo tanto, si invertimos 100 dólares durante un periodo a una tasa de 8 por ciento, recibiremos 108 dólares al final del periodo. En otras palabras, 100 dólares de hoy valen 108 dólares recibidos en el siguiente periodo.

Ahora, digamos que hemos invertido alguna cantidad, C', durante un periodo a una tasa de interés r. También digamos que después de un periodo, la cantidad recibida es 100 dólares, y la tasa de interés es 8 por ciento. ¿Cuánto, entonces, se invirtió originalmente? Podemos hallar C', la inversión original, si hacemos lo inverso de lo que hicimos en el ejemplo previo:

$$(1 + r) \cdot \ C' = \$100$$

$$C = \frac{\$100}{1 + r} = \frac{\$100}{1 + 0.08} = \frac{\$100}{1.08} = \$92.59$$

Por lo tanto, si invertimos 92.59 dólares durante un periodo a una tasa de interés de 8 por ciento, recibiremos 100 dólares al final del periodo. En otras palabras, 92.59 dólares hoy valen 100 dólares recibidos en el siguiente periodo.

Hemos demostrado la forma en que un dólar hoy vale más que un dólar mañana. Desde luego 100 dólares hoy valen 100 dólares. Pero, ¿cuánto valen en dólares *de hoy* 100 dólares recibidos en el siguiente periodo? La respuesta es 92.59 dólares, como demostramos en el último ejemplo. Dicho de otro modo, el *valor presente* de 100 dólares recibidos en el siguiente periodo es 92.59 dólares a una *tasa de descuento* de 8 por ciento. Por lo tanto, el valor presente es el valor en dólares de hoy de algún ingreso recibido o gasto pagado en un periodo futuro.

Veamos ahora el resultado de invertir 100 dólares a 8 por ciento durante periodos más largos:

Un periodo:	$(1 + r) \times C = (1 \times 0.08) \times \$100 = \$108$
Dos periodos:	$(1 + r) \times (1 + r) \times \$100 = (1 + 0.08)^2 \times \$100 = \$116.64$
Tres periodos:	$(1 + r) \times (1 + r) \times (1 + r) \times \$100 = (1 + 0.08)^3 \times \$100 = \$125.97$

Como hicimos ya antes, encontremos el valor presente de tres inversiones separadas de 100 dólares recibidos después de uno, dos y tres periodos:

Un periodo: $(1 + r) \times C' = \$100$

$$C' = \frac{\$100}{1 + 0.08} = \$92.59$$

El valor presente de 100 dólares recibidos el siguiente periodo es 92.59 dólares.

Dos periodos: $(1 + r) \times (1 + r) \times C' = \$100$

$$C' = \frac{\$100}{(1 + 0.08)^2} = \$85.7$$

El valor presente de 100 dólares recibidos después de dos periodos es 85.73 dólares.

Tres periodos: $(1 + r) \times (1 + r) \times (1 + r) \times C' = \$100$

$$C' = \frac{\$100}{(1 + 0.08)^3} = \$79.38$$

El valor presente de 100 dólares recibidos después de tres periodos es 79.38 dólares.

Encontramos el valor presente de estas tres inversiones separadas. Digamos ahora que teníamos una inversión que pagó 100 dólares en cada uno de los tres periodos. ¿Cuánto valdría esa inversión hoy? La respuesta es simplemente la suma de los valores presentes individuales, o sea 257.70 dólares. La suma de los valores presentes se denomina *valor presente neto* o VPN. El VPN es el valor presente de todas las entradas de dinero y todas las salidas de dinero. El valor presente de una *salida* de dinero es precisamente el negativo de una *entrada* de la misma cantidad.

Podemos resumir el cálculo de valor presente en una fórmula cómoda. El valor presente (VP) de una cantidad C recibida (o pagada) t periodos a partir de ahora es

$$VP = \frac{C}{(1 + r)^t}$$

Algunas calculadoras tienen una función especial de valor presente que puede hacer rápidamente los cálculos. Casi todos los programas de hojas de cálculo tienen funciones financieras especiales que automáticamente hacen cálculos de valor presente. La información requerida para estas funciones especiales es la cantidad futura pagada, la tasa de interés y el número de periodos de la inversión.

¿Qué tasa de interés debemos usar?

La tasa de interés (también llamada tasa de descuento, factor de descuento o tasa obstáculo) a usar es la de “costo de oportunidad de capital” nuestro o el de nuestra empresa. Recibe el nombre de costo de oportunidad de capital porque es el rendimiento desperdiciado al invertir en el proyecto y no en otras inversiones. Dicho de otro modo, el factor de descuento es la re-

compensa que los inversionistas demandan por aceptar pago postergado. Un proyecto que tiene un VPN positivo debe ganar más que el costo de oportunidad de capital y es por tanto una buena inversión. Nótese que numerosas empresas aplican una tasa de obstáculo constante a todas sus decisiones de inversión. En años recientes, casi todas las empresas han estado usando factores de descuento de 10 a 20 por ciento.

Los costos vencidos son irrelevantes para el cálculo del valor presente neto

En el contexto de la toma de decisiones de desarrollo de un producto, los costos en que ya se ha incurrido se denominan costos vencidos. Debido a que los costos vencidos son pasado y salidas irreversibles, no pueden ser afectados por decisiones presentes o futuras, de modo que deben ser ignorados para cálculos del VPN. Para aclarar este punto, consideremos un ejemplo del conocido argumento de "corta nuestras pérdidas": "Ya hemos gastado más de 600 millones de dólares y nueve años sin tener producto que lo demuestre, y tú ¿quieres que apruebe otros 90 millones de dólares? ¡Ésa es una locura!" Si bien este tipo de argumento podría sonar lógico, en realidad la cantidad de dinero ya gastada no es importante para la decisión de si gastar o no gastar 90 millones más. Lo importante es ver cuánta utilidad extra se obtendrá al invertir los 90 millones adicionales. Digamos que la utilidad esperada de las ventas del producto es de 350 millones de dólares. Veamos ahora el VPN de las dos opciones (suponga que todos los números dados son valores presentes):

"Corta nuestras pérdidas"		**"Invertir $90 millones más"**	
Cantidad adicional invertida:	$0	Cantidad adicional invertida:	–$90
Utilidades de ventas de producto:	0	Utilidades de ventas de producto:	350
VPN de decisión de "corta pérdidas":	$0	VPN de decisión "invertir":	$260
Total invertido:	–$600	Total invertido:	–$690
Rendimiento total del proyecto:	–$600	Rendimiento total del proyecto:	–$340

Debido a que la decisión de "invertir" tiene un VPN positivo, la empresa debe proseguir. Si bien es evidente que la empresa perderá dinero en el proyecto en cualquier caso, los 600 millones de dólares ya gastados es un costo oculto y no debe impactar en la decisión de invertir o cortar pérdidas. Desde luego, el argumento de costo oculto es una perspectiva analítica fría; hay un dicho que dice "los costos vencidos son sólo relevantes para el gerente que los ocultó". Los gerentes de proyecto con un largo historial de rendimientos totales negativos de proyectos pueden hallar que los costos vencidos son extremadamente relevantes para su capacidad de obtener apoyo para proyectos futuros.

Apéndice B

Modelado de flujos de dinero inciertos usando análisis de valor presente neto

Los proyectos de desarrollo de un producto se enfrentan a numerosos riesgos. Por ejemplo, el equipo puede pensar que el costo de manufactura para un nuevo producto en particular será 40 dólares por unidad. No obstante, el costo podría ser mucho más alto o podría incluso ser más bajo. El equipo no está seguro sino hasta que el producto se construye realmente. El equipo puede pronosticar ventas para el nuevo producto, pero los pronósticos dependen (entre otras cosas) de cuándo los competidores introducen sus versiones al mercado y esta información no estará disponible sino hasta que esos productos se introduzcan realmente. Estas incertidumbres que son particulares para un proyecto se denominan *riesgos específicos del proyecto*. ¿Cómo deben explicarse los riesgos específicos del proyecto? Algunos equipos de desarrollo aumentan la tasa de descuento para compensar incertidumbres acerca de los resultados. No obstante, un incremento arbitrario en la tasa de descuento se aplicaría uniformemente a flujos de dinero ciertos e inciertos. Por fortuna, existen mejores métodos si el equipo puede estimar las probabilidades de flujos de dinero inciertos.

En lugar de usar ajustes arbitrarios a la tasa de descuento, los equipos de desarrollo deben esforzarse por hacer pronósticos realistas de flujos de dinero. Estos pronósticos se pueden suplementar con análisis de sensibilidad para entender el efecto de toda la gama de posibles resultados para los factores inciertos. Los riesgos específicos de proyecto deben ser considerados sólo en flujos de dinero esperados y no en la tasa de descuento.

El análisis de sensibilidad se puede realizar al hacer variar de manera sistemática los parámetros del modelo, por ejemplo precio del producto o costo de manufactura, para entender el modo tan crítico en que el valor presente neto depende de valores específicos para estos parámetros. Un análisis básico se puede realizar para una variable a la vez, como se explica en el cuerpo de este capítulo o combinaciones de variables se pueden ajustar para formar situaciones realistas. Un análisis más refinado se puede llevar a cabo usando simulación de Monte Carlo con base en supuestas distribuciones de probabilidad para los parámetros del modelo.

Nótese que hay un segundo tipo de riesgo, el *riesgo general de mercado*, que no es específico para el proyecto. El riesgo general de mercado surge del hecho de que hay riesgos en toda la economía, que amenazan a todas las empresas y proyectos. Aun cuando se han escrito libros enteros sobre cálculo de riesgos de mercado, para nuestros propósitos baste decir que el riesgo de mercado normalmente se explica al inflar la tasa de descuento.

Análisis de escenarios

A veces los equipos de proyecto se enfrentan a escenarios discretos que son claramente previsibles y que tendrán influencia directa e importante en el resultado del proyecto. Por ejemplo, un equipo puede haber presentado una solicitud de patente sobre un concepto de producto novedoso y distintivo. Si la patente se permite, entonces el equipo espera enfrentarse a una amenaza mucho menor de los competidores que si la patente no se permite. Estas dos situaciones se pueden modelar como un *árbol de decisión*, como se ve en la figura 17-18. (En este caso, no hay una decisión explícita, sino más bien un resultado de un proceso incierto. Por conven-

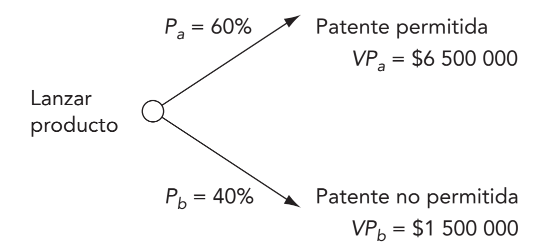


FIGURA 17-18
Situación en la que dos situaciones discretas se pueden visualizar.

ción, estos diagramas se denominan árboles de decisión.) Las dos ramas de este árbol representan las dos situaciones que visualiza el equipo. El valor presente del proyecto se puede analizar para cada situación tomada de manera independiente. El equipo puede también asignar una probabilidad a cada situación. Dadas estas entradas, el equipo puede ahora calcular el valor presente neto esperado para el proyecto tomando en cuenta las dos posibles situaciones:

$$VPN = P_a \times VP_a + P_b \times VP_b \qquad \text{donde } P_a + P_b = 1$$

Para la situación descrita por el árbol de decisión que se muestra en la figura 17-18,

$$VPN = 0.60 \times \$6\,500\,000 + 0.40 \times \$1\,500\,000 = \$4\,500\,000$$

Esta clase de análisis es apropiada cuando situaciones discretas y distintas se pueden visualizar, y cuando estas situaciones tienen flujos de dinero considerablemente diferentes.

Análisis de escenarios con puntos de decisión

Cuando se analicen proyectos de desarrollo de un producto, el equipo puede reconocer que casi todos los proyectos de desarrollo se pueden descontinuar o redirigir con base en la última información disponible. Estos puntos de decisión pueden presentarse en el momento de hitos o revisiones importantes. Esta flexibilidad para expandir o contraer un proyecto es valiosa desde el punto de vista financiero. La noción de puntos de decisión con la capacidad para cambiar una inversión es el tema de todo un campo de análisis denominado *opciones reales*. Copeland y Antikarov (2003) dan un tratamiento detallado de este tema. Aquí vemos una forma de pensar en situaciones que contienen puntos de decisión.

Piense en la situación descrita en la figura 17-19. Un equipo considera lanzar un producto en una categoría nueva por completo, que es un tipo de proyecto inherentemente riesgoso. El equipo podía sólo lanzar el proyecto y esperar el éxito, o gastar dinero y tiempo en probar el producto en el mercado. Si invierte en prueba de mercado, el equipo puede descubrir que el producto no es viable, en cuyo caso tiene la opción de cancelar el proyecto. De manera alternativa, puede descubrir que el mercado responde en gran medida al nuevo producto, en cuyo caso puede lanzar el producto con confianza y un valor asociado mucho más alto que el esperado de los flujos de dinero futuros.

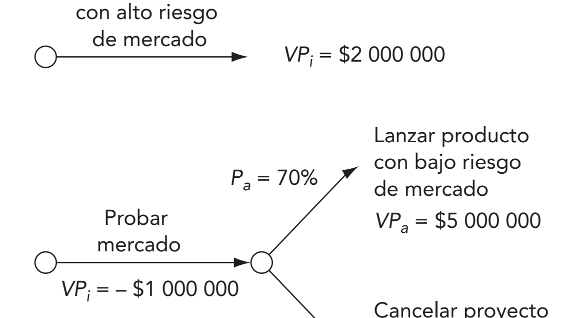


FIGURA 17-19 En esta situación, el equipo puede lanzar el producto de inmediato y enfrentarse a un gran riesgo de mercado o puede probar el mercado y luego decidir si lanza el producto.

Como caso práctico, el equipo analiza el valor de sólo lanzar el producto sin investigación. Dada la evaluación del equipo para la probabilidad de éxito, el valor presente es de dos millones de dólares para este plan. El valor de prueba de mercado seguido por una decisión de continuar o no continuar se puede analizar como sigue. En este caso, el equipo gasta otro millón para investigación. Después de investigar, hay 70 por ciento de probabilidad de que el equipo lance el producto y coseche un flujo posi-

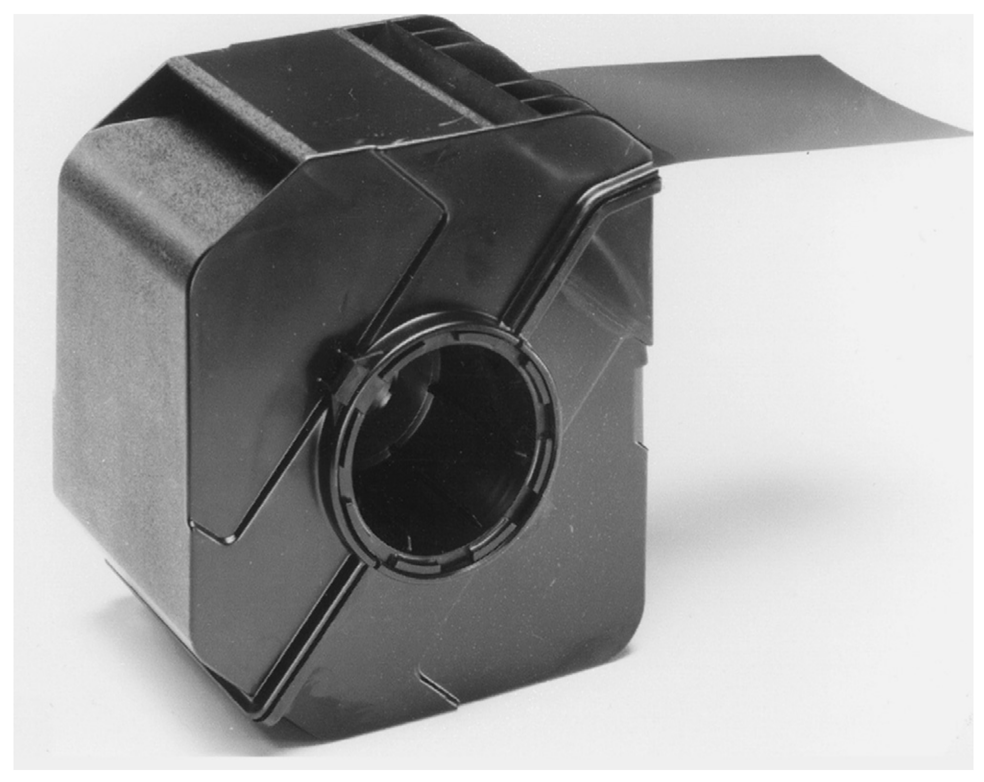
tivo de dinero de cinco millones. Hay 30 por ciento de probabilidad de que el equipo decida cancelar el proyecto, ganando sólo 0.5 millones de dólares en valor de salvamento. Entonces, el valor presente neto del proyecto es

$$\begin{aligned} VPN &= VP_i + P_a \times VP_a + P_b \times VP_b \\ &= -\$1\,000\,000 + 0.70 \times \$5\,000\,000 + 0.30 \times \$500\,000 \\ &= \$2\,650\,000 \end{aligned}$$

Con base en estas estimaciones y debido a que el valor presente neto excede al de sólo lanzar el producto sin probar, el equipo preferiría gastar el millón de dólares para probar el mercado. Hay, por supuesto, muchos factores que influyen en una decisión acerca de si lanzar un producto con alta incertidumbre o realizar una posterior investigación. El modelado económico se puede usar como una perspectiva para informar esta clase de decisión.

CAPÍTULO DIECIOCHO

Administración de proyectos



Cortesía de Eastman Kodak Company

FIGURA 18-1 Cartucho de microfilm Cheetah.

Un fabricante de equipo de imágenes en microfilm se puso en contacto con Eastman Kodak Company para diseñar y proveer de cartuchos de microfilm para usarse con una nueva máquina en desarrollo (figura 18-1). Las especificaciones objetivo eran similares para productos previos desarrollados por el equipo de cartuchos de Kodak, pero, a diferencia del acostumbrado tiempo de desarrollo de 24 meses, el cliente necesitaba cartuchos prototipo para realizar una demostración en una exposición comercial en sólo ocho meses y la producción se iniciaría cuatro meses después. Kodak aceptó este desafío de reducir su tiempo normal de desarrollo a la mitad y a su trabajo lo denominó proyecto Cheetah. Una administración eficaz del proyecto era decisiva para la terminación exitosa del proyecto.

En el desarrollo de todos los productos, excepto los más sencillos, interviene gran cantidad de personal que realiza muchas tareas. Los proyectos exitosos de desarrollo de productos resultan en productos de bajo costo y alta calidad cuando se hace un uso eficiente de tiempo, dinero y otros recursos. La *administración de proyectos* es la actividad de planear y coordinar recursos y tareas para alcanzar estos objetivos.

Las actividades de administración de proyectos se presentan durante la *planeación del proyecto* y la *ejecución del proyecto*. La planeación del proyecto comprende la programación de tareas del proyecto y la determinación de requerimientos de recursos. El plan del proyecto se traza primero durante la fase de desarrollo del concepto, aun cuando es una entidad dinámica y continúa en evolución en todo el proceso de desarrollo.

La ejecución del proyecto, a veces llamada *control del proyecto*, implica coordinar y facilitar las innumerables tareas necesarias para completar el proyecto ante acontecimientos no anticipados e inevitables, así como ante la llegada de nueva información. La ejecución es tan importante como la planeación; muchos equipos fracasan porque no se mantienen enfocados en sus objetivos mientras dura el proyecto.

Este capítulo contiene las cinco secciones restantes. Primero presentamos los fundamentos de dependencias de trabajo y programación, junto con tres herramientas para representar relaciones entre tareas del proyecto. En la segunda sección mostramos la forma en que estos fundamentos se usan para desarrollar un plan eficaz de desarrollo del producto. En la tercera sección damos un conjunto de directrices para completar proyectos con más rapidez, después examinamos la ejecución del proyecto y, por último, presentamos un proceso para su evaluación y mejora continua.

Para entender y representar tareas

Los proyectos de desarrollo de un producto comprenden la terminación de cientos o incluso miles de tareas. Esta sección examina algunas de las características fundamentales de tareas que interactúan: la "física básica" del proyecto. También presentamos tres formas de representar las tareas en un proyecto.

Tareas secuenciales, paralelas y acopladas

La figura 18-2 muestra las tareas para tres partes del proyecto Cheetah. Las tareas están representadas por cuadros, y las dependencias de información (datos) entre las tareas, por flechas. Nos referimos a esta representación como una *vista de procesamiento de información* o *perspectiva motivada por información* del desarrollo del producto porque casi todas las dependencias comprenden transformación de información (datos) entre las tareas. Decimos que la tarea B es *dependiente* de la tarea A si una salida de la tarea A se requiere para completar la tarea B.

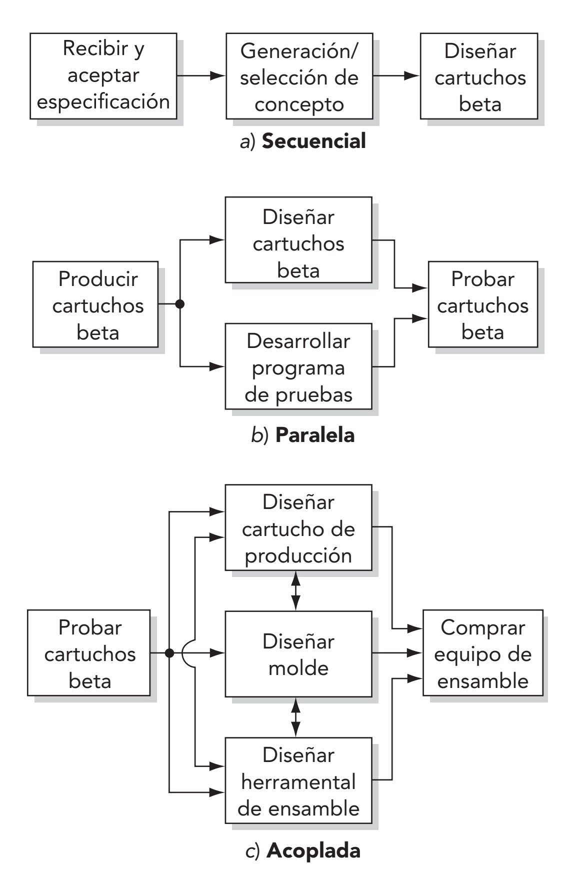


FIGURA 18-2 Los tres tipos básicos de dependencias de tareas: *a*) secuencial, *b*) paralela y *c*) acoplada.

Esta dependencia está representada por una flecha de la tarea A a la tarea B.

La figura 18-2*a* muestra tres tareas, dos de las cuales son dependientes de la salida de otra tarea. Estas tareas son *secuenciales* porque las dependencias imponen un orden secuencial en el que las tareas deben completarse. (Nótese que cuando nos referimos a tareas "completadas" en forma secuencial, no decimos necesariamente que la última tarea no se pueda iniciar antes que la anterior se haya completado. En general, la última tarea puede iniciarse con información parcial, pero no puede terminarse sino hasta que la tarea anterior se haya completado.) La figura 18-2*b* muestra cuatro tareas de desarrollo. Las dos tareas centrales dependen sólo de la tarea de la izquierda, pero no entre sí. La tarea de la derecha depende de las dos tareas centrales. A las dos tareas centrales se les llama tareas *paralelas* porque ambas dependen del mismo trabajo pero son independientes entre sí. La figura 18-2*c* muestra cinco tareas de desarrollo, tres de las cuales están *acopladas*. Las tareas acopladas son mutuamente dependientes; cada tarea requiere el resultado de las otras para ser completada. Las tareas acopladas deben ejecutarse de manera simultánea con cambios continuos de información o deben realizarse en una forma iterativa. Cuando las tareas acopladas se terminan en forma iterativa, las tareas se realizan ya sea en forma secuencial o simultánea con el entendimiento de que los resultados son tentativos y que es muy probable que cada tarea se repita una o más veces hasta que el equipo converja en una solución.

La matriz de estructura de diseño

Una herramienta útil para representar y analizar dependencias de tareas es la *matriz de estructura de diseño* (DSM, *design structure matrix*). Esta representación fue desarrollada originalmente por Steward (1981) para el análisis de descripciones de diseño y más recientemente se ha empleado para analizar proyectos de desarrollo modelados al nivel de la tarea (Eppinger *et al.*, 1994, Eppinger, 2001). La figura 18-3 muestra una DSM para las 14 tareas principales del proyecto Cheetah. (El plan mismo de Kodak incluía más de 100 tareas.)

En un modelo de DSM se asigna una tarea de proyecto a una fila y una columna correspondientes. Las filas y columnas se nombran y ordenan de modo idéntico, aun cuando por lo general sólo las filas contienen una lista de nombres completos de las tareas. Cada tarea está definida por una fila de la matriz. Representamos las dependencias de una tarea al poner marcas en las columnas para indicar las otras tareas (columnas) de las que depende. Al leer en forma horizontal una fila se ven todas las tareas cuya salida se requiere para efectuar la tarea correspondiente a la fila; al leer hacia abajo en una columna se ve cuáles tareas reciben información de la tarea correspondiente a la columna. Las celdas diagonales usualmente se llenan

con puntos o leyendas de la tarea, simplemente para separar los triángulos superiores e inferiores de la matriz y para facilitar el rastreo de las dependencias.

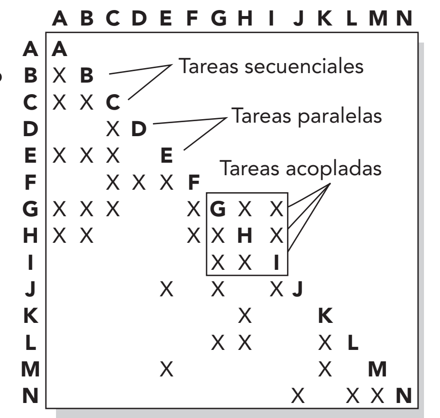
La DSM es más útil cuando las tareas se ponen en lista en el orden en que han de ejecutarse; casi siempre este orden corresponderá al orden impuesto por dependencias secuenciales. Nótese que si sólo tareas dependientes en forma secuencial estuvieran contenidas en la matriz de estructura de diseño (DSM), entonces las tareas podrían estar secuenciadas de modo que la matriz sería triangular inferior; es decir, no aparecerían marcas arriba de la diagonal. Una marca que aparezca arriba de la diagonal tiene importancia especial; indica que una tarea anterior depende de la última tarea. Una marca arriba de la diagonal podría significar que dos tareas dependientes en forma secuencial están ordenadas a la inversa, en cuyo caso el orden de las tareas se puede cambiar para eliminar la marca arriba de la diagonal. No obstante, cuando no haya orden de las tareas que eliminarán una marca arriba de la diagonal, la marca deja ver que dos o más tareas están acopladas.

El cambio del orden de tareas se denomina *fijar secuencia* o *partición* de la DSM. Hay algoritmos sencillos para la partición de la DSM de modo que las tareas se ordenan tanto como es posible de acuerdo con las dependencias secuenciales de las tareas. Una inspección de una DSM a la que se haya hecho partición revela cuáles tareas son secuenciales, cuáles son paralelas y cuáles son acopladas y requerirán de solución o iteración simultáneas. En una DSM a la que se haya hecho partición, una tarea es parte de un grupo secuencial si su fila contiene una marca justo debajo de la diagonal. Dos o más tareas son paralelas si no hay marca que las enlace. Como se hizo notar, las tareas acopladas están identificadas por marcas arriba de la diagonal. La figura 18-3 muestra la forma en que la DSM revela los tres tipos de relaciones.

Un uso más refinado del método de la matriz de estructura de diseño (DSM) ha sido objeto de investigación en el MIT desde la década de 1990. Buena parte de este trabajo ha aplicado el método a proyectos más grandes y al desarrollo de sistemas complejos como automóviles y aviones. Los métodos analíticos se han desarrollado para ayudar a entender los efectos del acoplamiento de tareas complejas (Smith y Eppinger, 1997), para predecir la distribución de posibles tiempos de terminación del proyecto y costos (Cho y Eppinger, 2001), y para ayudar a planear los diseños de organización con base en arquitecturas de producto (Eppinger, 1997).

Practicantes de las DSM han encontrado que los usos creativos de la exhibición gráfica de las relaciones de tareas de proyecto de la DSM pueden proveer a gerentes de proyecto de

FIGURA 18-3 Matriz de estructura de diseño simplificada para el proyecto Cheetah de Kodak.



una visión introspectiva en las fases de planeación y ejecución. El apéndice del capítulo presenta un modelo DSM más grande en el que están representadas varias fases de actividades de desarrollo acopladas que se traslapan.

Gráficas de Gantt

La herramienta tradicional para representar el calendario de tareas es la gráfica de Gantt. La figura 18-4 muestra una gráfica de Gantt para el proyecto Cheetah. La gráfica contiene una línea horizontal de tiempo creada al trazar una barra horizontal que representa el principio y fin de cada tarea. La parte llena de cada barra representa la fracción de la tarea que está completa. La recta vertical de la figura 18-4 muestra la fecha actual, de modo que podemos observar directamente que la tarea D está atrasada y que la tarea E está adelantada.

Una gráfica de Gantt no exhibe explícitamente las dependencias entre tareas. Las dependencias limitan, pero no determinan del todo, la programación de las tareas. Las dependencias determinan qué tareas deben ser terminadas antes que otras puedan empezar (o terminar, dependiendo de la naturaleza de la dependencia) y cuáles tareas se puedan terminar en paralelo. Cuando dos tareas se traslapan en tiempo en una gráfica de Gantt, pueden ser paralelas, secuenciales o acopladas en forma iterativa. Las tareas paralelas se pueden traslapar en tiempo por comodidad en el calendario del proyecto, porque no dependen entre sí. Las tareas secuenciales se pueden traslapar en tiempo, dependiendo de la naturaleza exacta de la dependencia de información, como se indica a continuación en la sección sobre acelerar proyectos. Las tareas acopladas deben traslaparse en tiempo porque necesitan ser resueltas de manera simultánea o de un modo iterativo.

Gráficas PERT

Las gráficas PERT (técnica de valoración y revisión de programas) representan de manera explícita dependencias y programación, combinando en efecto parte de la información contenida

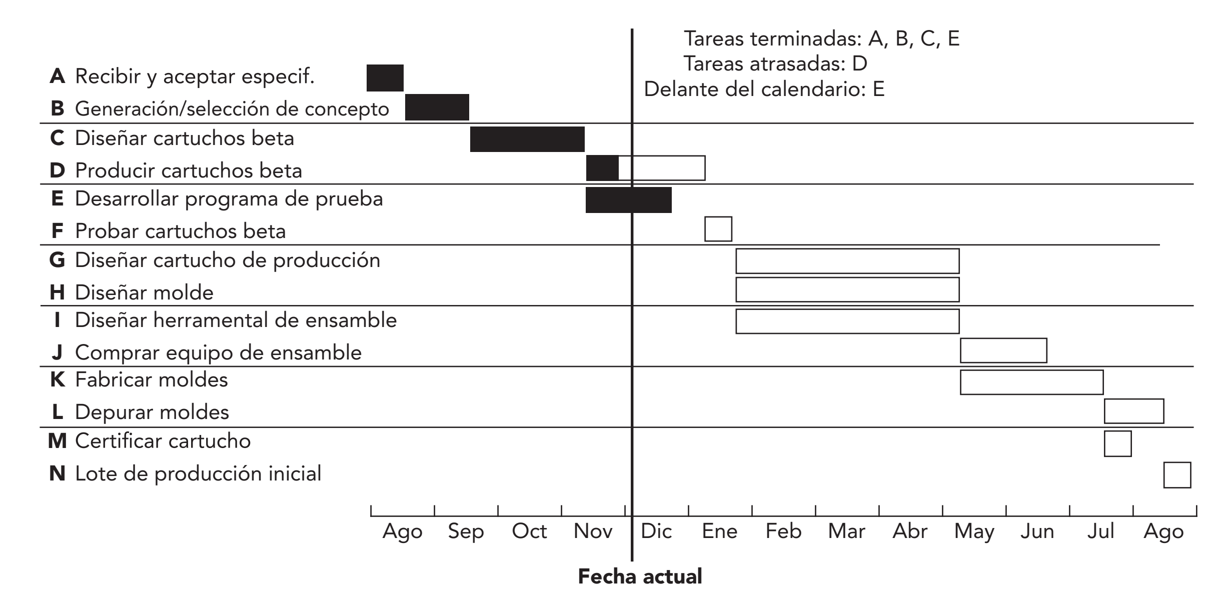


FIGURA 18-4 Gráfica de Gantt para el proyecto Cheetah.

en la matriz de estructura de diseño (DSM) y en la gráfica de Gantt. Si bien existen numerosas formas de gráficas PERT, preferimos la forma "actividades en nodos" de la gráfica, que corresponde a los diagramas de proceso con los que están familiarizadas casi todas las personas. La gráfica PERT para el proyecto Cheetah se muestra en la figura 18-5. Los bloques de la gráfica PERT están marcados con la tarea y su duración esperada. Nótese que la representación PERT no toma en cuenta lazos ni retroalimentación y por lo tanto no puede mostrar de manera explícita un acoplamiento iterativo. En consecuencia, las tareas acopladas G, H e I están agrupadas en una tarea. La convención gráfica de las gráficas PERT es que todos los enlaces entre tareas deben continuar de izquierda a derecha, indicando la secuencia temporal en la que las tareas se pueden completar. Cuando los bloques tienen dimensiones para representar la duración de tareas, como en una gráfica de Gantt, entonces un diagrama PERT también se puede usar para representar un programa de proyecto.

La trayectoria crítica

Las dependencias entre las tareas en una gráfica PERT, algunas de las cuales se pueden arreglar en forma secuencial y otras en paralelo, llevan al concepto de una *trayectoria crítica*. La trayectoria crítica es la cadena más larga de eventos dependientes. Ésta es la única secuencia de tareas cuyos tiempos combinados requeridos definen el tiempo mínimo posible de terminación para todo el conjunto de tareas. Considere, por ejemplo, el proyecto Cheetah representado en la figura 18-5. Las secuencias C-D-F o la C-E-F definen cuánto tiempo se requiere para completar las cuatro tareas C, D, E y F. En este caso, la trayectoria C-D-F requiere 18 semanas y la trayectoria C-E-F requiere 15, de modo que la trayectoria crítica para todo el pro-

A	Recibir y aceptar especificación	**H**	Diseñar molde
B	Generación/selección de concepto	**I**	Diseñar herramental de ensamble
C	Diseñar cartuchos beta	**J**	Comprar equipo de ensamble
D	Producir cartuchos beta	**K**	Fabricar moldes
E	Desarrollar programa de prueba	**L**	Depurar moldes
F	Probar cartuchos beta	**M**	Certificar cartucho
G	Diseñar cartucho de producción	**N**	Lote de producción inicial

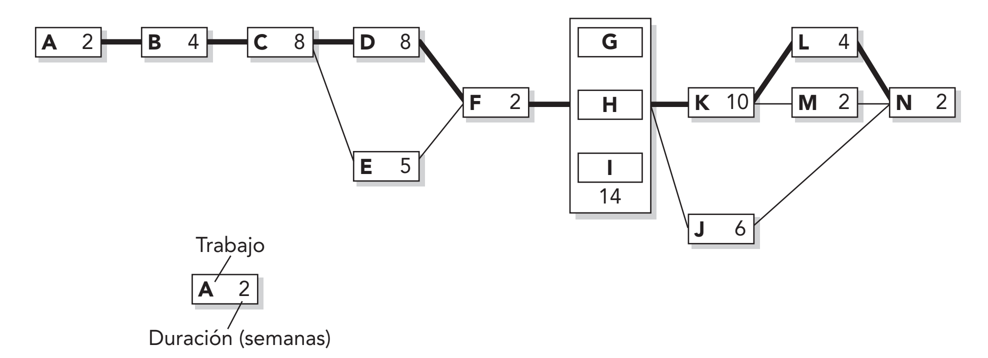


FIGURA 18-5 Gráfica PERT para el proyecto Cheetah. La trayectoria crítica está designada por las líneas más gruesas que enlazan tareas. Nótese que las tareas G, H e I están agrupadas juntas porque la representación PERT no describe tareas acopladas de manera explícita.

yecto incluye C-D-F. La trayectoria crítica para el proyecto está representada por las líneas gruesas de la figura 18-5. La identificación de la trayectoria crítica es importante porque una demora en cualquiera de estas *tareas críticas* resultaría en un aumento en la duración del proyecto. Las otras trayectorias contienen cierta *diferencia,* lo cual significa que una demora en una de las tareas no críticas no necesariamente causa una demora para todo el proyecto. La figura 18-4 muestra que la tarea D está atrasada con respecto al calendario. Como la tarea D está en la trayectoria crítica, esta demora, si no se corrige, resultará en una demora en la terminación de todo el proyecto.

Existen varios paquetes de software para producir gráficas de Gantt y gráficas PERT; estos programas también pueden calcular la trayectoria crítica.

Plan maestro de proyecto

El plan de proyecto es la guía para las tareas restantes de desarrollo. El plan es importante para coordinar las tareas restantes y estimar los recursos requeridos de desarrollo y tiempo de desarrollo. Alguna medida de la planeación del proyecto ocurre en las primeras etapas del desarrollo del producto, pero la importancia del plan es máxima al final de la fase de desarrollo del concepto, precisamente antes de que se asignen importantes recursos de desarrollo. Esta sección presenta un método para crear un *plan maestro del proyecto*. Después de establecer estos fundamentos, el equipo considera si debe modificar el plan para cambiar el tiempo planeado de desarrollo, presupuesto o propósito del proyecto. Los resultados de la fase de desarrollo del concepto más el plan del proyecto conforman *la bitácora del producto.*

La bitácora del producto

Recomendamos que se utilice una bitácora del producto para documentar el plan del proyecto y los resultados de la fase de desarrollo del concepto del proceso de desarrollo. El concepto de una bitácora del producto está detallado por Wheelwright y Clark (1992). La palabra bitácora se emplea para resaltar que el documento representa un acuerdo entre el equipo de desarrollo y la alta administración de la compañía acerca de las metas del proyecto, dirección y requerimientos de recursos. En realidad, la bitácora la firman los miembros clave del equipo y los altos administradores de la empresa. Una tabla de contenido para la bitácora del producto se ilustra en la figura 18-6, junto con referencias a los capítulos de este libro donde se examina parte de ese contenido.

A continuación examinamos los elementos del plan del proyecto: la lista de tareas del proyecto, dotación de personal y organización, programa del proyecto, presupuesto del proyecto y zonas de riesgo del proyecto.

Lista de tareas del proyecto

Ya hemos expresado la idea de que un proyecto está formado por un conjunto de tareas. El primer paso en la planeación de un proyecto es hacer una lista de las tareas que conforman el proyecto. Para casi todos los proyectos de desarrollo de un producto, el equipo no podrá hacer una lista de todas las tareas en gran detalle; demasiada incertidumbre permanece en las subsiguientes actividades de desarrollo. No obstante, el equipo podrá hacer una lista de su mejor estimación de las tareas restantes a un nivel general de detalle. Para que sea más útil durante la planeación del proyecto, la lista de tareas debe contener de 50 a 200 renglones. Para pro-

Renglón	Páginas aproximadas	Vea capítulo(s)
Declaración de la misión	1	4
Lista de necesidades del cliente	1-2	5
Análisis competitivo	1-2	3, 4, 5, 8, 9
Especificaciones del producto	1-3	6
Bosquejos del concepto del producto	1-2	7, 11
Informe de prueba del concepto	1-2	9
Pronóstico de ventas	1-3	9, 17
Análisis económico/caso de negocios	1-3	17
Evaluación del efecto ambiental	1-2	12
Plan de manufactura	1-5	13
Plan de proyecto		
Lista de tareas	1-5	2, 18
Diseñar matriz de estructura	2-3	18
Personal y organización del grupo	1	2, 18
Calendario (Gantt y/o PERT)	1-2	18
Presupuesto	1	18
Plan de riesgo	1	18
Plan de medición de rendimiento del proyecto	1	18
Incentivos	1	18
	Total 19-40 páginas	

FIGURA 18-6 Tabla de contenido de una bitácora del producto para un proyecto de complejidad moderada.

yectos pequeños, por ejemplo el desarrollo de una herramienta de mano, cada una de las tareas puede abarcar, en promedio, uno o dos días de trabajo para un solo empleado. Para proyectos de tamaño medio, por ejemplo el desarrollo de una impresora para computadora, cada tarea puede abarcar una semana de trabajo para un pequeño grupo de personas. Para un gran proyecto, como el desarrollo de un automóvil, cada una de las tareas puede abarcar uno o más meses de trabajo para toda una división o grupo subalterno. Para proyectos grandes, cada una de las tareas identificadas a este nivel puede ser tratada como su propio proyecto de desarrollo incluido su plan de proyecto.

Una forma eficaz de atacar la generación de la lista de tareas es considerar las tareas en cada una de las fases de desarrollo restantes. Para nuestro proceso genérico de desarrollo, las fases restantes después del desarrollo del concepto son diseño a nivel del sistema, diseño de detalles, prueba y refinamiento y arranque de producción. (Vea el capítulo 2, Procesos y organizaciones de desarrollo.) En algunos casos, la tarea actual será muy semejante a un proyecto previo. En estos casos, la lista de tareas desde el proyecto previo es un buen punto de inicio para la lista de la nueva tarea. El proyecto Cheetah fue muy semejante a docenas de tareas previas, por lo cual el equipo no tuvo problemas para identificar las tareas del proyecto. (Su desafío era completarlas rápidamente.)

Después de hacer una lista de todas las tareas, el equipo estima el esfuerzo necesario para completar cada una. El esfuerzo suele expresarse en unidades de hombre-hora, hombre-días u hombre-semanas, dependiendo del tamaño del proyecto. Nótese que estas estimaciones reflejan el “tiempo real de trabajo” que los miembros del equipo de desarrollo tendrían que aplicar a su realización y no el “tiempo de calendario transcurrido” que el equipo espera que requiera la tarea. Como la rapidez con que una tarea se completa tiene alguna influencia en la cantidad

total de esfuerzo que deba aplicarse a su realización, las estimaciones materializan suposiciones preliminares acerca del programa general del proyecto y de la rapidez con que el equipo tratará de completar tareas. Estas estimaciones se deducen típicamente de experiencias pasadas o del juicio de miembros expertos del equipo de desarrollo. Una lista de tareas para el proyecto Cheetah se muestra en la figura 18-7.

Asignación de personal y organización del equipo

El equipo del proyecto es el conjunto de personas que completan tareas del proyecto. Si este equipo es o no eficaz depende de una amplia variedad de personas y factores de organización. Smith y Reinertsen (1997) proponen varios criterios como determinantes de la rapidez con que un equipo completará el desarrollo de un producto; en nuestra experiencia, estos criterios predicen también muchas de las otras dimensiones del rendimiento del equipo:

1. Hay 10 o menos miembros del equipo.
2. Los miembros son voluntarios para servir en el equipo.
3. Los miembros sirven en el equipo desde el momento de desarrollo del concepto hasta el lanzamiento del producto.
4. Los miembros son asignados por tiempo completo al equipo.
5. Los miembros se reportan directamente al líder del equipo.
6. Las funciones clave, incluyendo cuando menos mercadotecnia, diseño y manufactura, están en el equipo.
7. Los miembros están ubicados a distancia conversacional uno del otro.

FIGURA 18-7 Lista de tareas para el proyecto Cheetah. (Esta lista de tareas está abreviada para mayor claridad; la lista real contenía más de 100 tareas.)

Trabajo	Hombre-semanas estimadas
Desarrollo del concepto	
Recibir y aceptar especificación	8
Generación/selección del concepto	16
Diseño de detalles	
Diseñar cartuchos beta	62
Producir cartuchos beta	24
Desarrollar programa de prueba	24
Pruebas y refinamiento	
Probar cartuchos beta	20
Diseñar cartucho de producción	56
Diseñar molde	36
Diseñar herramental de ensamble	24
Comprar equipo de ensamble	16
Fabricar moldes	16
Depurar moldes	24
Certificar cartucho	12
Arranque de producción	
Lote inicial de producción	16
Total	**354**

Si bien es cierto que pocos equipos cuentan con el personal y organización ideales, estos criterios hacen aparecer varios problemas clave: ¿De qué tamaño debe ser el equipo? ¿Cómo debe organizarse el equipo con respecto a una empresa más grande? ¿Qué funciones deben estar representadas en el equipo? ¿Cómo puede el equipo de desarrollo de un proyecto muy grande mostrar algo de la agilidad de un equipo pequeño? Aquí resolvemos los problemas relacionados con el tamaño del equipo. El capítulo 1, Introducción; y el capítulo 2, Procesos y organizaciones de desarrollo, resuelven algunos de los demás problemas de equipo y organizacionales.

El número mínimo de personas necesarias en el equipo del proyecto se puede calcular dividiendo el tiempo total estimado para completar las tareas del proyecto entre la duración planeada del proyecto. Por ejemplo, el tiempo estimado de trabajo para el proyecto Cheetah fue de 354 hombre-semana. El equipo esperaba completar el proyecto en 12 meses (o casi 50 semanas), de modo que el tamaño mínimo posible del equipo sería de siete personas. Si todo lo demás es igual, los equipos pequeños parecen ser más eficientes que los grandes, de modo que la situación ideal sería tener un equipo formado por un número mínimo de personas, cada una de ellas dedicada 100 por ciento al proyecto.

Tres factores dificultan este ideal. Primero, con frecuencia se requiere de conocimientos especializados para completar el proyecto. Por ejemplo, una de las tareas en Cheetah era diseñar moldes. Los diseñadores de moldes son altamente especializados y el equipo no podía usar un diseñador de moldes por todo un año. Segundo, uno o más miembros clave del equipo pueden tener otras responsabilidades ineludibles. Por ejemplo, una ingeniera del proyecto Cheetah tenía la responsabilidad de asistir en el inicio de producción de un proyecto previo. En consecuencia, ella sólo pudo dedicar la mitad de su tiempo al proyecto Cheetah al inicio. Tercero, el trabajo requerido para completar tareas en el proyecto no es constante todo el tiempo. En general, el requerimiento de trabajo aumenta de manera constante hasta el principio del arranque de producción y luego empieza a disminuir. Por lo tanto, el equipo generalmente tendrá que aumentar en número a medida que el proyecto avance para completar el proyecto en la forma más rápida posible.

Después de considerar la necesidad de conocimientos especializados, la realidad de otros compromisos de los miembros del equipo y la necesidad de acomodar un aumento y disminución subsiguiente en carga de trabajo, el líder del proyecto, tras consultar con la alta administración, identifica a todo el personal del proyecto y el tiempo aproximado en que cada uno se unirá al equipo. Cuando sea posible, los miembros del equipo se identifican por nombre, aun cuando en algunos casos serán identificados sólo por su campo de actividad (por ejemplo, diseñador de moldes, diseñador industrial). La asignación de personal al proyecto Cheetah se ve en la figura 18-8.

Programa del proyecto

El programa del proyecto es el unificador de las tareas del proyecto y la fecha límite del proyecto. El programa identifica cuándo se espera que ocurran objetivos o eventos importantes del proyecto y cuándo se espera que cada tarea del proyecto se inicie y termine. El equipo utiliza este programa para dar seguimiento al avance y efectuar el intercambio de materiales e información entre el personal. Por lo tanto, es importante que el programa sea visto como creíble por todo el equipo del proyecto.

Recomendamos los siguientes pasos para crear un programa de fecha límite del proyecto:

1. Usar la matriz de estructura de diseño (DSM) o un diagrama PERT para identificar las dependencias entre tareas.

Persona	**Mes:**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
Líder del equipo		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Coordinador de programa		25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Enlace con cliente		50	50	50	50	25	25	25	25	25	25	25	25
Diseñador mecánico 1		100	100	100	100	100	100	100	100	50	50	50	50
Diseñador mecánico 2			50	100	100	100	100	100	100	50			
Técnico 1 en CAD			50	100	100	100	100	100	100	100	50	50	50
Técnico 2 en CAD					50	100	100	100	100	100	50		
Diseñador de moldes 1		25	25	25	25	100	100	100	100	25	25	25	
Diseñador de moldes 2						100	100	100	100				
Diseñador de herramientas de ensamble		25	25	25	25	100	100	100	100	100	100	50	50
Ingeniero fabricante		50	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Ingeniero de adquisiciones			50	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100

FIGURA 18-8 Asignación de personal al proyecto Cheetah. Los números mostrados son porcentajes aproximados del tiempo completo.

2. Posicionar los objetivos clave del proyecto en una fecha límite en una gráfica de Gantt.
3. Programar las tareas, considerando el personal del proyecto y otros recursos críticos.
4. Ajustar la programación de los objetivos importantes para que sea consistente con el tiempo necesario para las tareas.

Los objetivos importantes del proyecto son útiles como direcciones de referencia para la actividad de programación. Los objetivos comunes incluyen revisiones del diseño (también llamados revisiones de fase o compuertas de diseño), prototipos integrales (por ejemplo, prototipo alfa, prototipo beta) y exposiciones comerciales. Como estos eventos por lo general requieren entradas de casi todos los del equipo de desarrollo, sirven como poderosas fuerzas para integración y actúan como direcciones de referencia en el programa. Una vez que los objetivos se han establecido en el programa, las tareas deben acomodarse entre estos objetivos.

El programa Cheetah fue desarrollado expandiendo las fases típicas del proyecto en un conjunto de aproximadamente 100 tareas. Los objetivos principales fueron la aprobación del concepto, la prueba de cartuchos beta prototipo, la demostración en una exposición comercial y el arranque de la producción. Las relaciones entre estas actividades y la trayectoria crítica se documentaron usando una gráfica combinada PERT/Gantt.

Presupuesto del proyecto

Es costumbre representar presupuestos con una simple hoja de cálculo, aun cuando muchas empresas tienen formas estándar de presupuesto para solicitudes y aprobaciones. Los renglones principales de un presupuesto son personal, materiales y servicios, instalaciones para un proyecto específico y gasto en recursos de desarrollo externos.

Para casi todos los proyectos, el renglón del presupuesto más grande es el costo del personal. Para el proyecto Cheetah, los cargos del personal fueron 80 por ciento del presupuesto total. Los costos de personal se pueden derivar directamente del plan de asignación de personal al aplicar tasas de salario *cargadas* a los compromisos estimados de tiempo del personal en el proyecto. Los salarios cargados incluyen prestaciones de empleados y gastos indirectos, y son por lo general entre dos y tres veces el salario real del miembro del equipo. Muchas empresas usan sólo una o dos tasas diferentes para representar el costo del personal en un proyecto. El promedio de costos de personal para proyectos de desarrollo de un producto va de

Renglón		**Cantidad**
Salarios de personal		
354 hombres-semana @ $3 000/semana		$1 062 000
Materiales y servicios		125 000
Moldes prototipo		75 000
Recursos del exterior, consultores		25 000
Viajes		50 000
	Subtotal	$1 337 000
	Contingencia (20%)	$267 400
	Total	$1 604 400

FIGURA 18-9 Resumen de presupuesto para el proyecto Cheetah. El herramental de producción y equipo están considerados como costos de manufactura y no como parte del presupuesto del proyecto de desarrollo. (Las cifras de Kodak están disfrazadas y listadas aquí sólo para ilustración.)

2 000 a 5 000 dólares por hombre-semana. Para el proyecto Cheetah, suponiendo un costo promedio de 3 000 dolares por hombre-semana, el costo total para los 354 hombres-semana de trabajo sería de 1 062 000 dólares.

Al inicio del proyecto de desarrollo, la incertidumbre en programación y costos es alta y los pronósticos pueden ser precisos sólo entre 30 y 50 por ciento. En las últimas etapas del proyecto la incertidumbre del programa se reduce hasta 5 y 10 por ciento, aproximadamente. Por esta razón debe agregarse cierto margen al presupuesto como contingencia. En la figura 18-9 se muestra un resumen del presupuesto del proyecto Cheetah.

Plan de riesgos del proyecto

Raras veces los proyectos se desarrollan exactamente de acuerdo con el plan. Algunas de las desviaciones con respecto al plan son menores y se pueden acomodar con poco o ningún efecto en el rendimiento del proyecto; otras desviaciones pueden causar demoras importantes, salirse de presupuesto, un mal funcionamiento del producto o altos costos de manufactura. Es frecuente que el equipo pueda elaborar por anticipado una lista de lo que podría ir mal, es decir, los aspectos de riesgo para el proyecto. Para identificar los riesgos, el equipo inquiere sobre las incertidumbres que pudiesen afectar el desempeño técnico, financiero y programado del proyecto. Las incertidumbres pueden relacionarse con los tiempos de las actividades, avances técnicos, aceptación en el mercado, costos materiales, competencia, etcétera.

Después de identificar cada riesgo, el equipo puede dar prioridad a los riesgos. Para hacerlo, algunos equipos usan una escala que combina gravedad y probabilidad de cada riesgo. Un plan completo de riesgos también incluye una lista de acciones que el equipo tomará para minimizar el riesgo. Una buena práctica gerencial es abordar los riesgos mayores en las etapas más tempranas posibles del proyecto. Esto se logra al programar pronto acciones para reducir la incertidumbre que generan los riesgos importantes identificados. Además de obligar al equipo a trabajar para minimizar riesgos, las prioridades explícitas de riesgo durante la actividad de planeación del proyecto ayudan a minimizar el número de sorpresas que el equipo tendrá que comunicar a su alta administración más adelante en el proyecto. El plan de riesgo para el proyecto Cheetah se ve en la figura 18-10.

Riesgo	**Nivel de riesgo**	**Acciones para minimizar riesgos**
Cambio en especificaciones del cliente	Moderado	• Involucrar al cliente en el proceso de refinar especificaciones. • Trabajar con el cliente para estimar sanciones de cambios en tiempo y costo.
Características deficientes de alimentación en el diseño del cartucho	Bajo	• Construir primeros prototipos funcionales de piezas maquinadas. • Probar prototipo en máquina de microfilm.
Demoras en taller de modelos	Moderado	• Reservar 25% de capacidad de taller para mayo-julio.
Problemas de moldeo requieren retrabajar moldes	Alto	• Incorporar al modelista y al diseñador de modelos en el diseño de la pieza. • Realizar análisis computarizado de llenado de molde. • Establecer reglas de diseño para diseño de la pieza. • Seleccionar materiales al final de la fase de desarrollo del concepto.

FIGURA 18-10 Plan de riesgo para el proyecto Cheetah.

Modificación del plan maestro

El plan maestro del proyecto materializa suposiciones acerca de la rapidez con que debe terminarse el proyecto, de los objetivos del rendimiento y costo para el producto y de los recursos a aplicar al proyecto. Después de completar un plan maestro, el equipo debe considerar si alguna de estas suposiciones debe revisarse. En particular, el equipo usualmente decide acordar tiempo de desarrollo, costo de desarrollo, costo de manufactura del producto, rendimiento del producto y riesgo. Por ejemplo, un proyecto puede a veces completarse más rápidamente si se gasta más dinero. Algunos de estos acuerdos se pueden explorar de manera cuantitativa usando las técnicas de análisis económico descritas en el capítulo 17, Economía de desarrollo del producto. El equipo también puede desarrollar planes de contingencia en caso de que ciertos riesgos no se puedan superar. La modificación deseada más común para el plan maestro es compactar el programa, razón por la que dedicamos la siguiente sección a formas en que el equipo puede acelerar el proyecto.

Aceleración de proyectos

El tiempo de desarrollo de un producto es a veces el interés dominante en la planeación y ejecución de un proyecto. Esta sección contiene un conjunto de directrices para acelerar proyectos de desarrollo del producto; casi todas estas directrices son aplicables en la etapa de planeación del proyecto, aun cuando unas cuantas se pueden utilizar en todo un proyecto de desarrollo. Acelerar un proyecto antes que haya iniciado es mucho más sencillo que tratar de facilitar un proyecto que ya está en movimiento.

El primer conjunto de directrices se aplica al proyecto en su conjunto.

- ***Iniciar pronto el proyecto.*** Ahorrar un mes al principio del proyecto es tan útil como ahorrarlo al final, pero los equipos trabajan a veces con poca urgencia antes de que se inicie de manera formal el desarrollo. Por ejemplo, la reunión o junta para aprobar un plan de proyecto y revisar una bitácora del producto se demora a veces durante semanas por la dificultad en programar una reunión con la alta dirección. Esta demora al principio de un proyecto cuesta exactamente el mismo tiempo que el retraso durante el arranque de la producción. La forma más fácil de completar un proyecto más pronto es iniciarlo temprano.
- ***Manejar el alcance del proyecto.*** Hay una tendencia natural a agregar funciones y capacidades al producto a medida que avanza el desarrollo. Algunas empresas llaman a este fenómeno "arrastre de funciones" o "elegancia que se arrastra", y en situaciones sensibles al tiempo puede resultar en un producto elegante sin mercado. Los equipos y organizaciones disciplinados pueden "congelar el diseño" y dejar las mejoras incrementales para la siguiente generación del producto.
- ***Facilitar el intercambio de información esencial.*** Como se ve en la representación de una matriz de estructura de diseño (DSM), una gran cantidad de información debe transferirse dentro del equipo de desarrollo del producto. Cada una de las tareas tiene uno o más clientes internos para la información que produce. Para equipos pequeños, el intercambio frecuente de información es muy natural y se facilita por reuniones del equipo y colocación de miembros del equipo. Los equipos más grandes pueden requerir más estructura para promover un rápido y frecuente intercambio de información. Los bloques de tareas acopladas que deja ver la DSM identifican las necesidades específicas para un intensivo intercambio de información. Las redes de computadoras y herramientas de software de colaboración pueden facilitar la transferencia regular de información dentro de grandes y dispersos equipos de desarrollo de un producto.

El segundo conjunto de directrices está destinado a reducir el tiempo necesario para completar las tareas en la trayectoria crítica. Estas directrices surgen del hecho de que la única forma para reducir el tiempo necesario para completar un proyecto es acortar la trayectoria crítica. Nótese que una decisión para asignar recursos adicionales a acortar la trayectoria crítica debe estar basada en el valor de acelerar todo el proyecto. Para algunos proyectos, las reducciones de tiempo en la trayectoria crítica pueden valer cientos de miles y hasta millones de dólares por semana.

- ***Completar más rápidamente tareas individuales en la trayectoria crítica.*** El beneficio de reconocer la trayectoria crítica es que el equipo puede enfocar su esfuerzo en esta vital secuencia de tareas. La trayectoria crítica por lo general representa sólo una pequeña parte del trabajo total del proyecto y por lo tanto un gasto adicional para completar con más rapidez una tarea crítica que puede justificarse normalmente con mayor facilidad. A veces completar tareas críticas con más rapidez se puede lograr con sólo identificar una tarea como crítica para que se le dé atención especial, se inicie más pronto y no se interrumpa. Nótese que la terminación acelerada de una tarea crítica puede hacer que la trayectoria crítica se mueva para incluir tareas que antes no eran críticas.
- ***Agregar tiempos de seguridad.*** La duración estimada de cada tarea en el proyecto generalmente incluye cierta cantidad de "tiempo de seguridad". Esto explica las muchas demoras normales pero impredecibles que se presentan durante la ejecución de cada tarea. Entre las demoras comunes se cuenta esperar información y aprobaciones, interrupciones

por otras tareas o proyectos y tareas que resultan más difíciles de lo anticipado. Goldratt (1997) estima que la seguridad integrada duplica la duración nominal de tareas. Aun cuando el tiempo de seguridad se agrega a la duración esperada para compensar demoras aleatorias, estas estimaciones se convierten en objetivos durante la ejecución de las tareas, lo cual significa que las tareas rara vez se terminan temprano y muchas de ellas se exceden. Goldratt recomienda eliminar el tiempo de seguridad de cada tarea a lo largo de la trayectoria crítica y agregar todo el tiempo de seguridad de la trayectoria crítica en un solo *regulador de proyecto* puesto al final del programa del proyecto. Debido a que la necesidad de ampliar la duración de la tarea se presenta más bien al azar, sólo algunas de las tareas necesitarán en realidad utilizar tiempo del regulador de proyecto. Por lo tanto, un solo regulador de proyecto puede ser menor que la suma de los tiempos de seguridad que se incluirían en cada estimación de duración de trabajo y la trayectoria crítica se puede completar más pronto. En la práctica, el regulador de proyecto sólo puede necesitar iniciarse con un tiempo igual a la mitad de la duración acortada de la trayectoria crítica. Goldratt ha desarrollado estas ideas en un método de administración de proyectos llamado *cadena crítica*. Además del regulador de proyecto, el método utiliza *reserva de alimentación* para proteger la trayectoria crítica de demoras donde las tareas no críticas entran en la trayectoria crítica. Cada reserva de alimentación se agrega a los tiempos de seguridad de las tareas en una trayectoria no crítica. La figura 18-11 ilustra el uso de reguladores de proyecto y reservas de alimentación.

- ***Eliminar por completo algunas tareas de trayectoria crítica.*** Examine a fondo todas las tareas en la trayectoria crítica y pregunte si se pueden eliminar o realizar de otro modo.
- ***Eliminar demoras en espera de recursos de trayectoria crítica.*** Las tareas en la trayectoria crítica se demoran a veces al esperar un recurso muy ocupado. El tiempo de espera es con frecuencia más largo que el tiempo real requerido para completar la tarea. Las demoras debidas a esperas son particularmente importantes cuando se adquieren componentes especiales de proveedores. A veces estas demoras se pueden evitar al solicitar un surtido de materiales y componentes para estar seguros de tener a la mano los elementos correctos, o al comprar una parte de la capacidad del sistema de producción de un vendedor para facilitar la fabricación de piezas prototipo. Estos gastos pueden tener un perfecto sentido económico en el contexto general del proyecto de desarrollo, aunque el gasto pueda parecer extravagante cuando se vea de manera aislada. En otros casos, tareas administrativas como las aprobaciones de orden de compra pueden convertirse en cuellos de

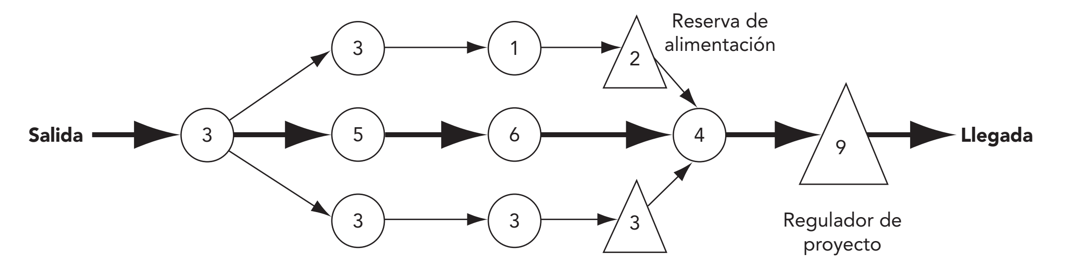


FIGURA 18-11 El método de cadena crítica agrega el tiempo de seguridad a lo largo de la trayectoria crítica en la reserva de alimentación. Las reservas de alimentación protegen la trayectoria crítica contra demoras. En esta figura, las duraciones nominales de tareas (en días) se dan para cada tarea y la trayectoria crítica se muestra con flechas más gruesas que enlazan a las tareas críticas.

botella. Debido a que en pasados proyectos de desarrollo de cartuchos las aprobaciones periódicas de presupuesto habían causado demoras, el líder del proyecto Cheetah empezó con suficiente tiempo a recabar en forma apremiante las firmas necesarias para no retrasar las actividades de todo el equipo.

- ***Traslapar tareas críticas seleccionadas.*** A veces, al examinar las relaciones entre tareas dependientes en forma secuencial de la trayectoria crítica, las tareas pueden traslaparse o ejecutarse en paralelo. En algunos casos, esto puede requerir una redefinición significativa de las tareas o incluso cambios a la arquitectura del producto. (Vea el capítulo 10, Arquitectura del producto, para más detalles sobre dependencias que surgen de la arquitectura del producto.) En otros casos, un traslape ocasiona simplemente transferir información parcial más temprano y/o con más frecuencia entre tareas nominalmente secuenciales o congelar más pronto la información crítica cuesta arriba. Krishnan (1996) da un marco para escoger varias estrategias de traslape.
- ***Ramificación de tareas grandes.*** La estrategia de *ramificación* se aplica al desglosar una sola tarea grande en tareas más pequeñas cuyos resultados se pueden pasar tan pronto como se terminen. Por ejemplo, el proceso de hallar y calificar a los muchos vendedores que suministran los componentes de un producto puede ser lento, e incluso retardar el inicio de la producción si no se termina con suficiente antelación. En lugar de esperar hasta que toda la lista de materiales se encuentre completa para que el departamento de compras empiece a calificar vendedores, compras podría calificar vendedores tan pronto como se identifique cada uno de los componentes. Una ramificación en efecto permite que se traslapen tareas nominalmente secuenciales.
- ***Subcontratación de algunas tareas.*** Las limitantes de recursos del proyecto son comunes. Cuando un proyecto está limitado por los recursos disponibles, asignar tareas a una empresa exterior o a otro equipo dentro de la empresa puede resultar eficaz para acelerar el proyecto en general.

El conjunto final de directrices tiene el propósito de completar en forma más rápida las tareas acopladas. Recuerde que las tareas acopladas son aquellas que deben ser completadas de manera simultánea o iterativa porque son mutuamente dependientes.

- ***Realizar más iteraciones rápidamente.*** Mucha de la demora para completar tareas acopladas consiste en pasar información de una persona a otra y esperar su respuesta. Si los ciclos de iteración se pueden completar a una mayor frecuencia, entonces las tareas acopladas podrán en ocasiones completarse con más rapidez. Las iteraciones más rápidas pueden lograrse por medio de intercambios más rápidos y más frecuentes de información. En el proyecto Cheetah, el ingeniero mecánico trabajaría en forma estrecha con el diseñador de moldes, que a su vez trabajaría estrechamente con el constructor de moldes. En muchas ocasiones, estos tres compartieron una sola pantalla de computadora con el fin de intercambiar ideas acerca de cómo el diseño estuvo evolucionando desde sus tres diferentes perspectivas.
- ***Desacoplar tareas para evitar iteraciones.*** Las iteraciones pueden con frecuencia reducirse o eliminarse si se toman acciones para desacoplar tareas. Por ejemplo, al definir con claridad una interfase entre dos componentes que interactúan en las primeras etapas del proceso del diseño, el diseño subsiguiente de los dos componentes puede continuar de manera independiente y en paralelo. La definición de la interfase puede tomar algún tiempo por adelantado, pero evitar las iteraciones que consumen mucho tiempo puede resultar en

ahorros netos de tiempo. (Vea en el capítulo 10, Arquitectura del producto, una exposición de establecer interfases para permitir el desarrollo independiente de componentes.)

- ***Considerar conjuntos de soluciones.*** Las iteraciones comprenden el intercambio de información acerca del diseño de producto que evoluciona. Más que intercambiar estimaciones de valor puntual de parámetros de diseño, en algunos casos el uso de rangos o conjuntos de valores puede facilitar una convergencia más rápida de tareas acopladas. Investigadores han descrito recientemente la aplicación de esos principios con base en conjuntos para ingeniería concurrente en Toyota (Sobek *et al*., 1999).

Ejecución del proyecto

Hasta una ejecución uniforme de un proyecto bien planeado requiere de cuidadosa atención. Tres problemas de ejecución de proyecto son particularmente importantes: 1) ¿Qué mecanismos se pueden usar para coordinar tareas? 2) ¿Cómo se puede evaluar el estatus de un proyecto?, y 3) ¿qué acciones puede tomar el equipo para corregir las indeseables desviaciones con respecto al plan del proyecto? Dedicamos esta sección a estos problemas.

Mecanismos de coordinación

La coordinación entre las actividades de los diferentes miembros del equipo se requiere durante todo el proyecto de desarrollo de un producto. La necesidad de coordinación es una consecuencia natural de dependencias entre tareas. Las necesidades de coordinación también surgen de los inevitables cambios en el plan del proyecto causados por eventos no anticipados y nueva información. Las dificultades en coordinación pueden aparecer por intercambios inadecuados de información y por barreras organizacionales a la cooperación interfuncional. A continuación veamos varios mecanismos que se emplean en equipos para resolver estas dificultades y facilitar la coordinación.

- ***Comunicación informal:*** El miembro de un equipo encargado del proyecto de desarrollo de un producto puede comunicarse con otros miembros del equipo docenas de veces al día. Muchas de estas comunicaciones son informales; comprenden la parada espontánea al escritorio de alguien, una llamada telefónica o un cibermensaje para solicitar o proporcionar una parte de la información. Una buena comunicación informal es uno de los mecanismos más útiles para eliminar barreras individuales y organizacionales a la cooperación interfuncional. Una comunicación informal se mejora considerablemente al ubicar a los miembros más importantes del equipo de desarrollo en el mismo espacio de trabajo. Allen (1977) ha demostrado que la frecuencia de comunicación está relacionada inversamente con la separación física y cae rápidamente cuando el personal está ubicado a más de unos cuantos metros entre sí (figura 18-12). En nuestra experiencia, el co-

FIGURA 18-12 Frecuencia de comunicación frente a distancia de separación. Esta relación mostrada es para empleados con un enlace organizacional, por ejemplo pertenecer al mismo equipo de desarrollo de un producto.

Fuente: Basado en Allen, 1977

rreo electrónico y, en menor medida, el correo de voz son medios eficientes para promover una mayor comunicación informal entre el personal que ya está bien familiarizado entre sí.

- ***Reuniones:*** El principal mecanismo de comunicación formal para equipos de proyecto es el de reuniones. La mayoría de los equipos se reúnen formalmente al menos una vez por semana; muchos equipos se reúnen dos veces por semana y los hay que se reúnen a diario. Los equipos ubicados en el mismo espacio de trabajo necesitan menos reuniones formales que los que están geográficamente separados. El tiempo empleado en intercambio de información en las reuniones no se utiliza para completar otras tareas del proyecto. A fin de reducir al mínimo el tiempo empleado en reuniones, algunos equipos que se reúnen lo hacen de pie para destacar que la reunión ha de ser rápida. Otras técnicas para controlar la duración de reuniones son elaborar una agenda por escrito donde se nombra a alguien para dirigir la reunión, así como reunirse poco antes de la hora de tomar alimentos o cerca de la hora de salida cuando las personas ya desean salir de la tarea. Recomendamos que las reuniones se lleven a cabo en lugar y horario regulares para que no haya necesidad de un esfuerzo extra al programar la reunión e informar al equipo de su hora y lugar.
- ***Mostrar el programa:*** El sistema de información más importante en la ejecución del proyecto es el programa, por lo general en forma de una gráfica PERT o de Gantt. Los proyectos más exitosos tienen una sola persona responsable de vigilar el programa, que en proyectos pequeños suele ser el líder del equipo. Los proyectos más grandes por lo general tienen una persona designada que no es el líder y que vigila y actualiza regularmente el programa. En el proyecto Cheetah, Kodak nombró por tiempo parcial a un analista del proyecto que mantuvo actualizado el programa semanalmente e informó al líder del equipo del proyecto. Los miembros del equipo entendieron la importancia de las proyecciones precisas del programa y cooperaron en este esfuerzo. Las actualizaciones del programa suelen exhibirse en forma de gráfica de Gantt (figura 18-4).
- ***Actualizaciones semanales:*** El líder del proyecto escribe el *memorándum semanal de estado* y lo distribuye en papel, en forma electrónica o incluso por correo de voz a todo el equipo ampliado del proyecto, por lo general los viernes o al regreso de fin de semana. El memorando es normalmente de una o dos páginas y contiene una lista de los más importantes logros, decisiones y eventos de la semana pasada. También contiene los eventos clave de la semana próxima y a veces se acompaña de un programa actualizado.
- ***Incentivos:*** Algunas de las formas organizacionales más elementales, por ejemplo organizaciones funcionales, que usan revisiones funcionales de desempeño, pueden inhibir la colaboración productiva de miembros del equipo en funciones. La aplicación de medidas de rendimiento basadas en proyectos crea incentivos para que miembros del equipo contribuyan en forma más completa al proyecto. El hecho de que un gerente de proyecto y un gerente funcional contribuyan reconociendo el rendimiento individual que lleve a promociones, aumentos de mérito y bonos, envía un fuerte mensaje de que los resultados del proyecto son altamente valorados. (Vea en el capítulo 2, Procesos y organizaciones de desarrollo, una exposición de varias formas organizacionales, incluyendo organizaciones de proyecto, funcionales y de matriz.)
- ***Documentos de un proceso:*** Cada uno de los métodos presentados en este libro tiene también un sistema de información asociado que ayuda al equipo del proyecto a tomar decisiones y proporciona documentación. (Por sistemas de información nos referimos a todos los medios estructurados que el equipo emplea para intercambiar información, no

sólo los sistemas de cómputo usados por el equipo.) Por ejemplo, el método de selección de concepto usa dos matrices de selección de concepto para documentar y facilitar el proceso de selección. Del mismo modo, cada uno de los otros sistemas de información sirve para facilitar la ejecución lógica del paso del proceso y para documentar sus resultados. La figura 18-13 es una lista de algunos de los sistemas de información importante empleados en varias etapas del proceso de desarrollo.

Actividad de desarrollo	Sistemas de información empleados
Planeación del producto	Mapa del segmento del producto Mapa de tecnología Matriz de cambio del proceso del producto Plan de recurso agregado Plan del producto Declaración de misión
Identificación de necesidades del cliente	Listas de necesidades del cliente
Generación del concepto	Diagramas de función Árbol de clasificación del concepto Tabla de combinación del concepto Descripciones y bosquejos del concepto
Selección del concepto	Matriz de filtrado del concepto Matriz de evaluación del concepto
Especificaciones del producto	Matriz de necesidades métricas Gráficas de benchmarking competitivo Listas de especificaciones
Diseño a nivel del sistema	Diagrama esquemático Distribución geométrica Plan de diferenciación Plan de características comunes
Diseño detallado	Lista de materiales Plan de prototipos Evaluación de impacto ambiental
Diseño industrial	Encuesta de importancia estética/ergonómica
Pruebas	Informes de desempeño en las pruebas Informes de durabilidad en las pruebas
Economía del desarrollo del producto	Hoja de cálculo de análisis de VPN
Administración del proyecto	Bitácora del producto Lista de tareas Matriz de estructura de diseño Gráfica de Gantt Gráfica PERT Matriz de asignación de personal Análisis de riesgo Memorando de estado semanal Reporte de protección Reporte del resultado del proyecto

FIGURA 18-13 Sistemas de información que facilitan la toma de decisiones en el desarrollo de un producto, el consenso del equipo y el intercambio de información.

Evaluación del estado del proyecto

Los líderes y la alta dirección del proyecto deben ser capaces de evaluar el proyecto para saber si se justifica tomar acciones correctivas. En proyectos de tamaño modesto (de menos de 50 personas, por ejemplo) los líderes del proyecto bien pueden evaluar el estado del proyecto. El líder del proyecto evalúa el estado durante reuniones formales del equipo, al revisar el programa del proyecto y reunir información en modos informales; constantemente interactúa con el equipo del proyecto, se reúne de manera regular con empleados que trabajan en problemas difíciles y puede observar todos los sistemas de información del proyecto. Un equipo también puede contratar a un experto de fuera del equipo central para revisar el estado del proyecto. El objetivo de estas revisiones es resaltar aspectos de riesgo y generar ideas para resolverlos.

Las revisiones del proyecto, conducidas por la alta dirección, son otro método común de evaluar el avance. Estas revisiones suelen realizarse al final de cada fase del desarrollo y son eventos clave del proyecto. Estos eventos sirven no sólo para informar a la alta dirección del estado de un proyecto, sino también para ver más de cerca una amplia variedad de tareas del desarrollo. Si bien estas revisiones pueden ser eventos útiles y pueden mejorar el rendimiento del proyecto, también pueden dificultarlo. Los resultados perjudiciales surgen por dedicar demasiado tiempo a elaborar presentaciones formales, por demoras en programar revisiones con gerentes muy ocupados y por intromisiones excesivas en los detalles del proyecto de parte de quienes lo revisan.

El método de la cadena crítica emplea un novedoso enfoque para monitorear el programa del proyecto. Con sólo observar el regulador del proyecto y las reservas de alimentación del proyecto (descritas brevemente líneas antes), el gerente del proyecto puede evaluar con rapidez el estado crítico de cada una de las trayectorias y el tiempo estimado de terminación del proyecto. Si las tareas consumen el regulador del proyecto con más rapidez que aquella en la que se completa la trayectoria crítica, el proyecto corre el riesgo de no cumplir con la fecha de terminación. Por lo tanto, un reporte de protección da una actualización concisa del estado del proyecto en términos del avance de la trayectoria crítica y sus trayectorias de alimentación.

Acciones correctivas

Después de descubrir una desviación indeseable del plan del proyecto, el equipo trata de tomar una acción correctiva. Los problemas casi siempre se manifiestan como potenciales faltas de cumplimiento del programa y por lo tanto casi todas estas acciones correctivas se relacionan con detener potenciales demoras. Entre las posibles acciones se incluyen:

- ***Cambiar la programación o frecuencia de las reuniones:*** A veces un simple cambio en la frecuencia de reuniones, de semanales a diarias, aumenta la “frecuencia de manejo” de flujo de información entre miembros del equipo y hace posible una terminación más rápida de las tareas. Esto es particularmente cierto en equipos que no están ya situados (aunque si el equipo está muy disperso geográficamente, las reuniones pueden consumir gran cantidad de tiempo de viaje). A veces con sólo cambiar una reunión semanal de un martes por la mañana a un viernes en la tarde aumenta la urgencia que tiene el equipo por “terminar esta semana”.
- ***Cambiar de personal del proyecto:*** Los conocimientos, capacidad y entrega de los miembros del equipo del proyecto en gran medida determinan el rendimiento del proyecto. Cuando el equipo del proyecto está excesivamente falto de personal, el rendimiento

puede aumentar a veces si se incrementa el personal necesario; cuando tiene demasiado personal, el rendimiento puede en ocasiones aumentar si se elimina personal. Nótese que aumentar personal como medida de pánico al final de un proyecto puede llevar a demoras en la terminación del proyecto, porque los mayores requisitos de coordinación pueden valer más que el aumento en recursos humanos.

- ***Reunir físicamente al equipo:*** Si el equipo está geográficamente disperso, una forma de aumentar el rendimiento del proyecto es reunirlo en el mismo espacio de trabajo, lo que invariablemente aumenta la comunicación entre miembros del equipo. Algún beneficio de "colocación virtual" es posible con correo electrónico, videoconferencias y otras herramientas de colaboración basadas en la red.
- ***Solicitar más tiempo y trabajo del equipo:*** Si algunos miembros del equipo están distribuyendo su trabajo entre varios proyectos, el rendimiento del proyecto puede aumentar al relevarlos de otras responsabilidades. Está por demás decir que los equipos de proyectos con alto rendimiento incluyen miembros que regularmente entregan más de 40 horas de trabajo por semana al proyecto. Si algunas tareas críticas demandan trabajo extraordinario, los equipos más entregados están dispuestos a dedicar varias semanas de días de 14 horas para terminar la tarea. No obstante, semanas de 60 o 70 horas no se pueden esperar de la mayoría de los miembros durante más de algunas semanas sin causar fatiga y agotamiento.
- ***Enfocar más esfuerzo en las tareas críticas:*** Por definición, sólo una secuencia de tareas forma la trayectoria crítica. Cuando la trayectoria se puede atacar de manera útil con más personal, el equipo puede escoger cancelar temporalmente alguna(s) o todas las otras tareas no críticas para asegurar la terminación oportuna de las tareas críticas.
- ***Contratar recursos externos:*** El equipo puede retener una fuente externa, como una empresa de consultoría o un proveedor, para que efectúe algunas de las tareas de desarrollo. Las empresas externas suelen ser rápidas y relativamente económicas cuando un conjunto de tareas se puede definir de manera clara y los requisitos de coordinación no son severos.
- ***Cambiar el alcance o programa del proyecto:*** Si las otras tareas no corrigen desviaciones indeseables del plan del proyecto, entonces el equipo debe reducir el alcance del proyecto, identificar una meta alternativa del proyecto o ampliar (rebasar) el programa del proyecto. Estos cambios son necesarios para mantener un plan creíble y útil.

Evaluación del proyecto post mórtem (después de su terminación)

Una evaluación del rendimiento del proyecto después que se ha terminado es útil para el personal y para la mejora organizacional. Es frecuente que esta revisión se denomine *evaluación del proyecto post mórtem*. La evaluación post mórtem suele ser una exposición abierta de los puntos fuertes y débiles del plan del proyecto, de los procesos de desarrollo empleados, de los resultados comerciales y técnicos, y de la calidad de la ejecución. Esta exposición a veces es facilitada por un consultor externo o por alguien dentro de la empresa que no intervino en el proyecto. Varias preguntas ayudan a guiar la exposición:

- ¿El equipo logró la misión enunciada en la declaración de la misión (inclusive las metas estratégicas, técnicas y financieras)?

- ¿Qué aspectos del desempeño del proyecto (tiempo de desarrollo, costo de desarrollo, calidad del producto, costo de manufactura, impactos ambientales) fueron más positivos?
- ¿Qué aspectos del desempeño del proyecto fueron más negativos?
- ¿Qué herramientas, métodos y prácticas contribuyeron a los aspectos positivos del desempeño?
- ¿Qué herramientas, métodos y prácticas detuvieron el éxito del proyecto?
- ¿Qué problemas encontró el equipo?
- ¿Qué acciones específicas puede tomar la organización para mejorar el rendimiento del proyecto?
- ¿Qué lecciones técnicas se aprendieron? ¿Cómo pueden compartirse con el resto de la organización?

Un reporte post mórtem se elabora como parte del cierre formal del proyecto. Estos reportes se utilizan en futuros proyectos en su etapa de planeación de proyecto, para ayudar a miembros del equipo a saber qué esperar y ayudar a identificar las dificultades a evitar. Los reportes también son una fuente valiosa de datos históricos para estudios de prácticas de desarrollo de un producto de la empresa. Junto con la documentación del proyecto, y particularmente la bitácora del producto, dan una visión de "antes y después" de cada proyecto.

Para el proyecto Cheetah, la exposición post mórtem involucró a seis miembros del equipo central, duró dos horas y fue facilitada por un consultor. El proyecto se terminó a tiempo y, a pesar del ambicioso calendario, buena parte de la exposición se enfocó en lo que el equipo había hecho para contribuir al éxito del proyecto. El equipo acordó que las aportaciones más importantes al éxito del proyecto fueron:

- Dar facultades a un líder del equipo.
- Resolución efectiva de problemas del equipo.
- Destacar la importancia de apegarse al programa.
- Enlaces efectivos de comunicación.
- Participación total de funciones múltiples.
- Construcción con base en experiencia previa en el desarrollo de un cartucho.
- Uso de herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) para comunicación y análisis.
- Pronto entendimiento de la capacidad de manufactura.

El equipo Cheetah también identificó varias oportunidades para mejorar:

- Usar herramientas CAD en tres dimensiones y herramientas de análisis de moldeo en plástico.
- Una participación más temprana del cliente en las decisiones del diseño.
- Mejor integración del diseño del herramental y diseño del sistema de producción.

Resumen

El desarrollo exitoso de un producto requiere de una eficiente administración del proyecto. Algunas de las ideas clave de este capítulo son:

- Los proyectos están formados por tareas eslabonadas entre sí por depender unos de otros. Las tareas son secuenciales, paralelas o acopladas.

- La cadena más larga de tareas dependientes define la trayectoria crítica, la que marca el tiempo mínimo para la terminación del proyecto.
- La matriz de estructura de diseño (DSM) se puede usar para representar dependencias. Las gráficas de Gantt se usan para representar la programación de las tareas. Las gráficas PERT representan dependencias y programación, y con frecuencia se usan para calcular la trayectoria crítica.
- La planeación del proyecto resulta en una lista de trabajo, un programa de proyecto, requerimientos de personal, un presupuesto del proyecto y un plan de riesgos. Estos renglones son los elementos clave de la bitácora del producto.
- Casi todas las oportunidades para acelerar proyectos surgen durante la fase de planeación del proyecto. Hay muchas formas de completar proyectos de desarrollo más rápidamente.
- La ejecución de un proyecto comprende la coordinación, evaluación del avance y realizar acciones para resolver desviaciones con respecto al plan.
- La evaluación del rendimiento de un proyecto estimula y facilita la mejora personal y organizacional.

Referencias y bibliografía

Existen numerosos recursos actuales en internet **www.ulrich-eppinger.net**

Es posible adquirir numerosos textos básicos sobre administración de proyectos, aun cuando casi ninguno se enfoca en proyectos de desarrollo de productos. Las técnicas PERT, de trayectoria crítica y de Gantt se describen en casi todos los libros de administración de proyectos, incluyendo el texto clásico de Kerzner. Kerzner también examina, para un proyecto, la asignación de personal, planeación, presupuesto, administración de riesgos y control.

Kerzner, Harold, *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*, 9a. ed., Wiley, Nueva York, 2005.

Varios autores han escrito específicamente acerca de la administración del desarrollo de un producto. Wheelwright y Clark examinan a profundidad el liderazgo de un equipo y otros problemas de administración de proyectos.

Wheelwright, Stephen C., y Kim B. Clark, *Revolutionizing Product Development: Quantum Leaps in Speed, Efficiency, and Quality*, The Free Press, Nueva York, 1992.

La matriz de estructura de diseño (DSM) originalmente fue desarrollada por Steward en la década de 1970. Más recientemente, este método ha sido aplicado a la planeación y mejora industrial de proyectos por Eppinger y su equipo de investigación en el MIT.

Cho, Soo-Haeng, y Steven D. Eppinger, "Product Development Process Modeling Using Advanced Simulation", *ASME Conference on Design Theory and Methodology*, Pittsburgh, PA, núm. DETC-21691, septiembre de 2001.

Eppinger, Steven D. *et al*., "A Model-Based Method for Organizing Tasks in Product Development", *Research in Engineering Design*, vol. 6, núm. 1, 1994, pp. 1-13.

Eppinger, Steven D., "A Planning Method for Integration of Large-Scale Engineering Systems", *International Conference on Engineering Design*, Tampere, Finlandia, agosto de 1997, pp. 199-204.

Eppinger, Steven D., Murthy V. Nukala, y Daniel E. Whitney, "Generalized Models of Design Iteration Using Signal Flow Graphs", *Research in Engineering Design*, vol. 9, núm. 2, 1997, pp. 112-123.

Eppinger, Steven D., "Innovation at the Speed of Information", *Harvard Business Review*, vol. 79, núm. 1, enero de 2001, pp. 149-158.

Smith, Robert P., y Steven D. Eppinger, "Identifying Controlling Features of Engineering Design Iteration", *Management Science*, vol. 43, núm. 3, marzo de 1997, pp. 276-293.

Steward, Donald V., *Systems Analysis and Management: Structure, Strategy, and Design*, Petrocelli Books, Nueva York, 1981.

Krishnan presenta una estructura para traslapar tareas nominalmente secuenciales, explicando bajo qué condiciones es mejor transferir información preliminar de arriba a abajo y cuándo puede ser mejor congelar pronto la tarea ascendente.

Krishnan, Viswanathan, "Managing the Simultaneous Execution of Coupled Phases in Concurrent Product Development", *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 43, núm. 2, mayo de 1996, pp. 210-217.

Goldratt desarrolló el método de cadena crítica de administración de un proyecto. Este método agrega tiempos de seguridad de cada tarea hacia reguladores de proyecto y alimentación, permitiendo así dar seguimiento al proyecto al vigilar estas protecciones.

Goldratt, Eliyahu M., *Critical Chain*, North River Press, Great Barrington, MA, 1997.

Smith y Reinertsen presentan muchas ideas para acelerar proyectos de desarrollo de un producto, junto con interesantes ideas sobre asignación de personal y organización de un equipo.

Smith, Preston G., y Donald G. Reinertsen, *Developing Products in Half the Time: New Rules, New Tools*, 2a. ed., Wiley, Nueva York, 1997.

Sobek, Ward y Liker presentan los principios de ingeniería concurrente basada en conjuntos, en los que los equipos de desarrollo de una tarea razonan acerca de conjuntos de posibles soluciones de diseño, en lugar de usar sólo valores basados en puntos para describir el diseño en evolución.

Sobek II, Durward K., Allen C. Ward, y Jeffrey K. Liker, "Toyota's Principles of Set-Based Concurrent Engineering", *Sloan Management Review*, vol. 40, núm. 2, invierno de 1999, pp. 67-83.

Allen ha estudiado a fondo la comunicación en organizaciones de investigación y desarrollo. Este texto incluye los resultados de sus estudios empíricos primordiales de la influencia de una distribución física en comunicación.

Allen, Thomas, J., *Managing the Flow of Technology: Technology Transfer and the Dissemination of Technological Information within the R&D Organization*, MIT Press, Cambridge, MA, 1977.

Kostner ofrece una guía para líderes de equipos geográficamente dispersos.

Kostner, Jaclyn, *Virtual Leadership: Secrets from the Round Table for the Multi-Site Manager*, Warner Books, Nueva York, 1994.

Markus explica que el correo electrónico puede facilitar ricas interacciones entre miembros de un equipo de proyecto, además de medios tradicionales como son las reuniones personales.

Markus, M. Lynne, "Electronic Mail as the Medium of Managerial Choice", *Organization Science*, vol. 5, núm. 4, noviembre de 1994, pp. 502-527.

Hall presenta un proceso estructurado para identificación, análisis y manejo de riesgos, con ejemplos de aplicación en software e ingeniería de sistemas. (Vea también Kerzner, 2009.)

Hall, Elaine M., *Methods for Software Systems Development*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1998.

Smith presenta un proceso de 12 pasos para revisión y evaluación de proyectos, lo que lleva a mejoras del proceso en curso del desarrollo de un producto.

Smith, Preston G., "Your Product Development Process Demands Ongoing Improvement", *Research-Technology Management*, vol. 39, núm. 2, marzo-abril de 1996, pp. 37-44.

Ejercicios

1. Las tareas para preparar una comida (junto con los tiempos normales de terminación) podrían incluir:
   a) Lavar y cortar verduras para la ensalada (15 minutos).
   b) Mover la ensalada (dos minutos).
   c) Poner la mesa (ocho minutos).
   d) Empezar a cocinar el arroz (dos minutos).
   e) Cocinar el arroz (25 minutos).
   f) Poner el arroz en un plato para servir (un minuto).
   g) Mezclar ingredientes para el guisado (10 minutos).
   h) Hornear el guisado (25 minutos).

   Elabore una matriz de estructura de diseño (DSM) para estas tareas.
2. Elabore una gráfica PERT para las tareas del ejercicio 1. ¿Qué tan rápido puede una persona elaborar esta comida? ¿Qué pasa si son dos personas?
3. ¿Qué estrategias podría emplear para preparar esa comida más rápidamente? Si pensó en esa comida 24 horas antes, ¿hay algunos pasos que pudiera tomar para reducir el tiempo entre la llegada a casa al día siguiente y servir la comida?
4. Entreviste a un gerente de proyecto (no necesariamente del desarrollo de un producto). Pídale que describa los principales obstáculos para el éxito de un proyecto.

Preguntas de análisis

1. Cuando se demora una tarea en la trayectoria crítica (por ejemplo, la fabricación de un molde), se demora la terminación de todo el proyecto aun cuando la cantidad total de trabajo requerido para completar el proyecto siga siendo igual. ¿Cómo esperaría usted que esa demora tenga efecto en el costo total del proyecto?
2. Este capítulo se concentra en los problemas "duros" en administración de proyectos relacionados con tareas, dependencia y calendarios. ¿Cuáles son algunos de los problemas "suaves", o de comportamiento, relacionados con la administración de un proyecto?
3. ¿Cuáles espera usted que sean algunas de las características de las personas que dirigen con éxito equipos de proyectos?
4. ¿Bajo qué condiciones podrían esforzarse para acelerar el proyecto de desarrollo de un producto conduciendo también a una mayor calidad del producto y/o menores costos de manufactura del mismo? ¿Bajo qué condiciones podrían deteriorarse estos atributos del producto si el proyecto se acelera?

Apéndice

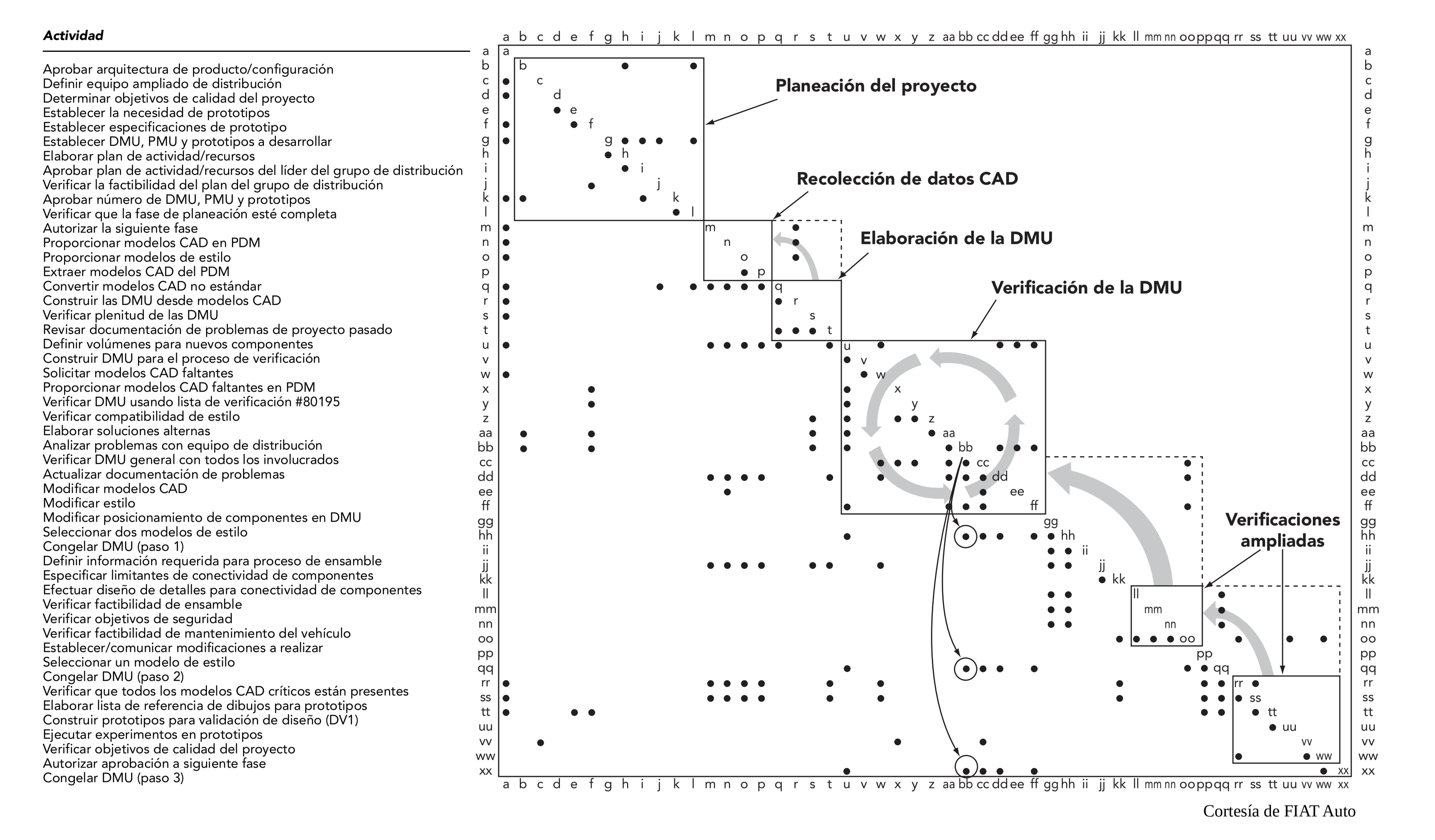
Ejemplo de matriz de estructura de diseño

Una de las más útiles aplicaciones del método de la matriz de estructura de diseño (DSM) es representar procesos bien establecidos, aunque complejos, de diseño de ingeniería. Este rico método de modelar un proceso facilita:

- Entender el proceso de desarrollo existente.
- Comunicar el proceso a las personas involucradas.
- Mejorar el proceso.
- Visualizar el avance durante el proyecto.

La figura 18-14 muestra un modelo de DSM de una parte crítica del proceso de desarrollo de un importante fabricante de automóviles. El modelo incluye 50 tareas involucradas en el proceso del modelo de ensamble digital (DMU, *digital mock-up*) para la distribución física de los numerosos componentes en el compartimiento del motor del vehículo. El proceso tiene lugar en seis fases, descritas por los bloques de actividades a lo largo de la diagonal. Las primeras dos de estas fases (planeación del proyecto y recolección de datos CAD) ocurren en paralelo, seguidas por el desarrollo del modelo de ensamble digital (preparación de la DMU). Cada una de las tres últimas fases comprende sucesivamente más verificación analítica precisa que los componentes representados por el modelo digital de ensamble, ya que en la realidad se ajustan correctamente dentro del espacio del compartimiento del motor del vehículo.

En contraste con el modelo DSM más sencillo que se ve en la figura 18-3, donde los cuadros sobre la diagonal identifican conjuntos de actividades acopladas, la DSM de la figura 18-14 usa esos bloques para mostrar cuáles actividades se ejecutan juntas (en paralelo, en forma secuencial, y/o de manera iterativa) dentro de cada fase. Las flechas y líneas interrumpidas representan las iteraciones principales entre conjuntos de actividades dentro de cada fase.



Cortesía de FIAT Auto

FIGURA 18-14 Modelo de matriz de estructura de diseño del proceso de maqueta digital (DMU) empleado para validar la distribución del compartimiento del motor del automóvil.

Índice analítico

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

O

P

Q

R

S

T

U

V

W

X

Z